

Trabajo Fin de Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

IMPLEMENTACIÓN DE LEAN PROJECT MANAGEMENT EN PROYECTOS DE INGENIERÍA

Autor: Rodrigo Pérez de Tudela Villa

Tutor: Guillermo Montero Fernández-Vivancos

Dpto. de Organización Industrial y gestión de
empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2025



Trabajo Fin de Grado
en Ingeniería de las Tecnologías de Tecnologías Industriales

**IMPLEMENTACIÓN DE LEAN PROJECT MANAGEMENT EN PROYECTOS DE
INGENIERÍA**

Autor:
Rodrigo Pérez de Tudela

Tutor:
Guillermo Montero fernández-Vivancos
Profesor titular

Dpto. de Organización Industrial y gestión de empresas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2025

Trabajo Fin de Grado: IMPLEMENTACIÓN DE LEAN PROJECT MANAGEMENT EN PROYECTOS DE INGENIERÍA

Autor: Rodrigo Pérez de Tudela Villa.

Tutor: Guillermo Monterno Fernández-Vivancos.

El tribunal nombrado para juzgar el proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2025

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, amigos y seres queridos, quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de esta etapa. Su apoyo incondicional, su paciencia y sus palabras de ánimo me han dado la fuerza para seguir adelante incluso en los momentos más complicados. Gracias por confiar en mí y por estar siempre a mi lado.

También quiero agradecer a mis compañeros de carrera, con quienes he compartido incontables horas de estudio, debates, risas y esfuerzo. Sin duda, su compañía ha hecho que este camino haya sido mucho más llevadero y enriquecedor. Ha sido un verdadero privilegio aprender y crecer junto a vosotros.

Por último, quiero expresar mi gratitud a mis profesores, quienes han sido una fuente de conocimiento e inspiración a lo largo de estos años. En especial, quiero agradecer a mi tutor, Guillermo, por su dedicación, orientación y consejos, que han sido clave en el desarrollo de este trabajo. Su paciencia y compromiso han sido fundamentales para que este proyecto llegase a buen puerto.

Rodrigo Pérez de Tudela Villa

Sevilla, 2025

Este proyecto se plantea como una guía que sea apta para todo proyecto de Ingeniería. La guía tiene como objeto establecer una serie de herramientas a implementar para la aplicación de Lean Project Management en un proyecto genérico.

Para lograrlo, se ha estudiado a fondo tanto la historia como los fundamentos que recoge el Lean Management, recalcando siempre los pilares de la metodología. Al encontrar la necesidad de contextualizar este tipo de gestión de proyecto, se ha investigado sobre las metodologías ágiles y tradicionales, viendo sus diferencias y similitudes.

Paralelamente, se han hecho estudios a cerca del SCRUM y del PMBOK, dos de los marcos ágiles y tradicionales respectivamente más conocidos hoy en día, lo que ha ayudado a tener nociones reales y actuales de que tendencias toma la gestión de proyectos.

El enfoque más práctico ha sido la elección de herramientas relacionadas con las prácticas Lean, de las que se han escogido una variedad de herramientas que difieran entre sí y permitan un análisis amplio en todos los aspectos.

Finalmente, se han escogido las áreas de conocimiento del PMBOK a las que aplicar las herramientas estudiadas previamente. Esta práctica ha permitido gestionar las herramientas de una metodología ágil a una estructura generalmente tradicional, que puede adaptarse al enfoque adaptativo.

This project is intended as a guide that is suitable for all engineering projects. The guide aims to establish a series of tools to be implemented for the application of Lean Project Management in a generic project.

To achieve this, both the history and the fundamentals of Lean Management have been studied in depth, always emphasising the pillars of the methodology. When we found the need to contextualise this type of project management, we investigated agile and traditional methodologies, looking at their differences and similarities.

In parallel, studies have been made about SCRUM and PMBOK, two of the agile and traditional frameworks respectively more known nowadays, which has helped to have real and current notions of the trends in project management.

The most practical approach has been the choice of tools related to Lean practices, from which a variety of tools have been chosen that differ from each other and allow a broad analysis in all aspects.

Finally, the PMBOK knowledge areas have been chosen to which the tools previously studied can be applied. This practice has made it possible to manage the tools of an agile methodology in a generally traditional structure, which can be adapted to the adaptive approach.

Agradecimientos	8
Resumen	10
Abstract	12
Índice	13
Índice de Tablas	15
Índice de Figuras	16
Siglas	18
1 INTRODUCCIÓN	19
1.1 <i>OBJETO DEL PROYECTO</i>	19
1.2 <i>ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PROYECTO</i>	20
2 MARCO TEÓRICO DEL LEAN PROJECT MANAGEMENT	21
2.1 <i>METODOLOGÍAS PREDICTIVAS Y ÁGILES</i>	21
2.1.1 <i>METODOLOGÍAS PREDICTIVAS</i>	21
2.1.2 <i>METODOLOGÍAS ÁGILES</i>	22
2.2 <i>PROCESOS Y ÁREAS DE CONOCIMIENTO DE PMBOK</i>	24
2.3 <i>SCRUM</i>	26
2.3.1 <i>CARACTERÍSTICAS</i>	26
2.3.2 <i>HERRAMIENTAS</i>	26
2.3.3 <i>ROLES</i>	27
2.3.4 <i>EVENTOS</i>	27
2.4 <i>LEAN MANUFACTURING</i>	28
2.4.1 <i>SISTEMAS PRODUCTIVOS</i>	28
2.4.2 <i>PROGRESO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS</i>	29
2.4. <i>MARCO HISTÓRICO Y DESARROLLO DE LEAN MANUFACTURING</i>	31
2.5 <i>LEAN PROJECT MANAGEMENT</i>	32
2.5.1 <i>PILARES DEL SISTEMA</i>	32
2.5.2 <i>FUNDAMENTOS DE LEAN MANAGEMENT</i>	33
2.5.3 <i>TIPOS DE DESPERDICIO</i>	35
2.5. <i>LEAN PROJECT MANAGEMENT VS METODOLOGÍAS ÁGILES</i>	37
3 PROYECTOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	39
4 APLICACIÓN DE LEAN PROJECT MANAGEMENT A PROYECTOS DE INGENIERÍA	41
4.1 <i>HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LPM</i>	41
4.1.1 <i>VSM</i>	41
4.1.2 <i>5S</i>	44
4.1.3 <i>PANEL SQCDP</i>	48
4.1.4 <i>SMED</i>	50
4.1.5 <i>KANBAN</i>	52
4.1.6 <i>PDCA</i>	53
4.1.7 <i>TAKT TIME</i>	54
4.1.8 <i>Andon</i>	55

4.1.9	POKA YOKE	57
4.1.10	MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)	59
4.2	MARCO DE TRABAJO DE LPM EN PROYECTOS	61
4.2.1	INTEGRACIÓN DEL PROYECTO	62
4.2.2	DEFINICIÓN DE ALCANCE	62
4.2.3	DURACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES	63
4.2.4	GESTIÓN DE COSTES Y FINANZAS	64
4.2.5	GESTIÓN DE CALIDAD	65
4.2.6	GESTIÓN DE ADQUISICIONES	66
4.2.7	GESTIÓN DE RIESGOS	67
4.2.8	GESTIÓN DE STAKEHOLDERS	68
4.2.9	GESTIÓN DE LAS COMUNICACIONES	70
4.2.10	RECURSOS DEL PROYECTO	71
4.3	RELACIÓN ENTRE HERRAMIENTAS Y ÁREAS DE TRABAJO	72
5	CONCLUSIÓN	74
	Referencias	78

Tabla 1. Lean vs Agile Management (Elaboración propia).	38
Tabla 2. Valores de OEE. (Elaboración propia)	60
Tabla 3. Análisis de impacto. (Elaboración propia)	67
Tabla 4. Planes de comunicación de stakeholders (Elaboración propia).	69
Tabla 5. Relación de desperdicios y herramientas. (Elaboración propia)	71
Tabla 6. Relación de herramientas y disciplinas (Elaboración propia)	72
Tabla 7. Relación de herramientas y disciplinas (Elaboración propia)	72

Ilustración 1. Planificación predictiva (Elaboración propia)	21
Ilustración 2. Planificación ágil (Elaboración propia).	22
Ilustración 3. Herramientas del Scrum (UEMC Business School, 2022)	27
Ilustración 4. Sistemas productivos (Elaboración propia)	28
Ilustración 5. Evolución de los sistemas productivos. (Rainer Erne, 2022)	30
Ilustración 6. Pilares del sistema de producción de Toyota (Rainer Erne, 2022)	32
Ilustración 7. Principios de la Idea 'Lean' (Rainer Erne, 2022)	33
Ilustración 8. Producción pull vs push (Business Map, 2019)	34
Ilustración 9. VSM actual (Sentrio, 2018)	42
Ilustración 10. VSM futuro (Sentrio, 2018)	43
Ilustración 11. Tarjeta Roja 5s. (Vicente Hinojosa Barrios, 2019)	44
Ilustración 12. Características de Seiton. (Paulina Rewers, 2016)	45
Ilustración 13. Relación de las 5s. (Elaboración propia)	47
Ilustración 14. Panel SQCDP (Patrick Lemay, 2019)	49
Ilustración 15. Tarjeta Kanban (Sergio Enrique Zamora, 2020)	52
Ilustración 16. Ciclo PDCA (MK Academy, 2020)	53
Ilustración 17. Cálculo Takt time. (Gorkem Gencer, 2023)	54
Ilustración 18. Representación de Andon. (Lean Enterprise Institute, 2019)	55
Ilustración 19. Pilares de TPM. (Leanmanu.com, 2023)	59
Ilustración 20. Pirámide de Calidad. (Elaboración propia)	66
Ilustración 21. Categorías de stakeholders. (Croft, 2024)	68

LPM – Lean Project Management (Gestión de Proyectos Lean).

PMBOK – Project Management Body of Knowledge (Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos)

VSM – Value Stream Mapping (Mapeo del Flujo de Valor).

5S – Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke (Organización, Orden, Limpieza, Estandarización, Disciplina).

SQCDP – Safety, Quality, Cost, Delivery, People (Seguridad, Calidad, Coste, Entrega, Personas).

SMED – Single-Minute Exchange of Die (Cambio de Herramienta en un Solo Dígito de Minutos).

JIT – Just-in-Time (Justo a Tiempo).

PDCA – Plan-Do-Check-Act (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar).

OEE – Overall Equipment Effectiveness (Efectividad Global de los Equipos).

TPM – Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total).

KPI – Key Performance Indicator (Indicador Clave de Rendimiento).

MVP – Minimum Viable Product (Producto Mínimo Viable).

WIP – Work in Progress (Trabajo en Proceso).

ERP – Enterprise Resource Planning (Planificación de Recursos Empresariales).

Scrum – Palabra adoptada de las melés (formación de rugby).

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETO DEL PROYECTO

Este trabajo tiene como objeto analizar la implementación de Lean Project Management en proyectos de ingeniería, proporcionando un enfoque neutro y aplicable a cualquier rama de la disciplina.

En primer lugar, se investigan las raíces del Lean Management, explorando su origen, sus principios fundamentales y la filosofía que lo sustenta. Se analiza cómo surge esta metodología y cómo ha evolucionado desde sus inicios en la industria manufacturera hasta su adaptación a la gestión de proyectos.

A continuación, se examina la evolución de las industrias en las últimas décadas, identificando los cambios en los modelos de producción, las nuevas exigencias del mercado y el impacto de la globalización y la digitalización en la gestión de proyectos.

Se comparan las características de Lean Project Management con otras metodologías de gestión de proyectos, evaluando sus ventajas, limitaciones y diferencias clave con enfoques como PMBOK, Agile con el fin de comprender su aplicabilidad en distintos contextos.

Otro de los retos se basa en analizar las nuevas tendencias que se prevé que adopten las diferentes disciplinas de la ingeniería que destacan en la actualidad, permitiendo un enfoque más actual de las herramientas y áreas que se estudian.

Además, se elabora una lista de herramientas clave para la implementación de Lean Project Management, proporcionando una guía práctica que facilite su adopción en proyectos de ingeniería y optimice la eficiencia y el uso de los recursos.

Como propuesta innovadora, se aplican las herramientas a un marco de trabajo tradicional como es el PMBOK, proponiendo un reto rompedor al combinar ambas prácticas y salir de los esquemas tradicionales que propone esta guía.

Por último, se mantiene un enfoque amplio y neutral, asegurando que las conclusiones y propuestas del estudio sean aplicables a diversas ramas de la ingeniería, sin limitarse a un sector específico, permitiendo así su utilidad en múltiples ámbitos profesionales.

Finalmente y fiel a la idea principal del trabajo se estudia qué herramienta puede encajar mejor con qué área de aplicación, facilitando el empleo de cualquiera de las herramientas propuestas para un proyecto neutral de una manera totalmente objetiva.

1.2 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El trabajo comienza con una introducción en la que se presenta el objeto del proyecto, estableciendo los objetivos y el alcance del estudio. Además, se analiza la estructura del documento para proporcionar una visión clara de los temas que se abordarán a lo largo del desarrollo.

A continuación, se desarrolla el fundamento teórico necesario para comprender lean project management, comenzando con una revisión de las metodologías de gestión predictivas y ágiles. Se analizan conceptos clave como PMBOK y Scrum, además del lean manufacturing, incluyendo su origen, evolución y principios fundamentales. También se explica el concepto de lean project management, sus pilares, fundamentos y la comparación con otras metodologías ágiles.

El siguiente apartado se centra en el estudio de los diferentes tipos de proyectos dentro de la ingeniería industrial, poniendo especial énfasis en proyectos innovadores como la generación de hidrógeno verde. Este análisis permite contextualizar la aplicación de lean project management dentro del ámbito ingenieril.

Posteriormente, se presentan herramientas clave para la implementación del lean project management en proyectos de ingeniería, incluyendo metodologías como VSM (Value Stream Mapping), 5S y el panel SQCDP. Asimismo, se define un marco de trabajo para la aplicación estructurada de LPM en distintos proyectos, facilitando su implementación en la práctica.

Finalmente, el trabajo concluye con un apartado de reflexiones finales en el que se presentan las principales conclusiones obtenidas, destacando los beneficios y desafíos de la implementación de lean project management en ingeniería. Se ofrecen recomendaciones prácticas para su adopción en distintos sectores, asegurando su aplicabilidad y efectividad.

2 MARCO TEÓRICO DEL LEAN PROJECT MANAGEMENT

2.1 METODOLOGÍAS PREDICTIVAS Y ÁGILES

A la hora de plantear un proyecto, se debe tomar una decisión a cerca de cómo abordarlo y que metodología adoptar, las dos ramas mas destacadas son las predictivas y las ágiles. Independientemente de que tipo de Proyecto se vaya a ejecutar nunca va a haber una metodología que prevalezca al 100% sobre la otra, si no que para ciertos rasgos de los procesos de un mismo proyecto puede ser más conveniente emplear una u otra. (Chandiramani, 2019)

Por eso es importante conocer las características de cada uno de los métodos para poder exprimirlos al máximo y poder aportar versatilidad, pues no existe ningún proyecto que se deba íntegramente a una metodología exacta. A continuación, se presentan las dos vertientes más empleadas de gestión de proyectos.

2.1.1 METODOLOGÍAS PREDICTIVAS

Las metodologías predictivas, también conocidas como tradicionales o en cascada, se centran en el análisis y planificación de eventos futuros y sus posibles conductas y riesgos. El término cascada, se debe a la forma en la que se gestiona un proyecto, pues se parte del análisis de las primeras fases y en un posterior estudio de las tareas que trae consigo un proyecto.

Con este modelo se definen los estándares y plazos que deben cumplir las tareas y también la dependencia que hay entre ellas y una fecha de finalización prevista, estableciéndose una ruta crítica que define que eventos provocan un retraso del proyecto en su conjunto si no se cumplieran en su debido plazo.

Una característica muy distinguida es que el comportamiento de este tipo de metodología frente a cambios drásticos en la tendencia del proyecto suele ser negativo, pues es un método muy rígido y no funciona bien si existen inconvenientes en las distintas tareas.

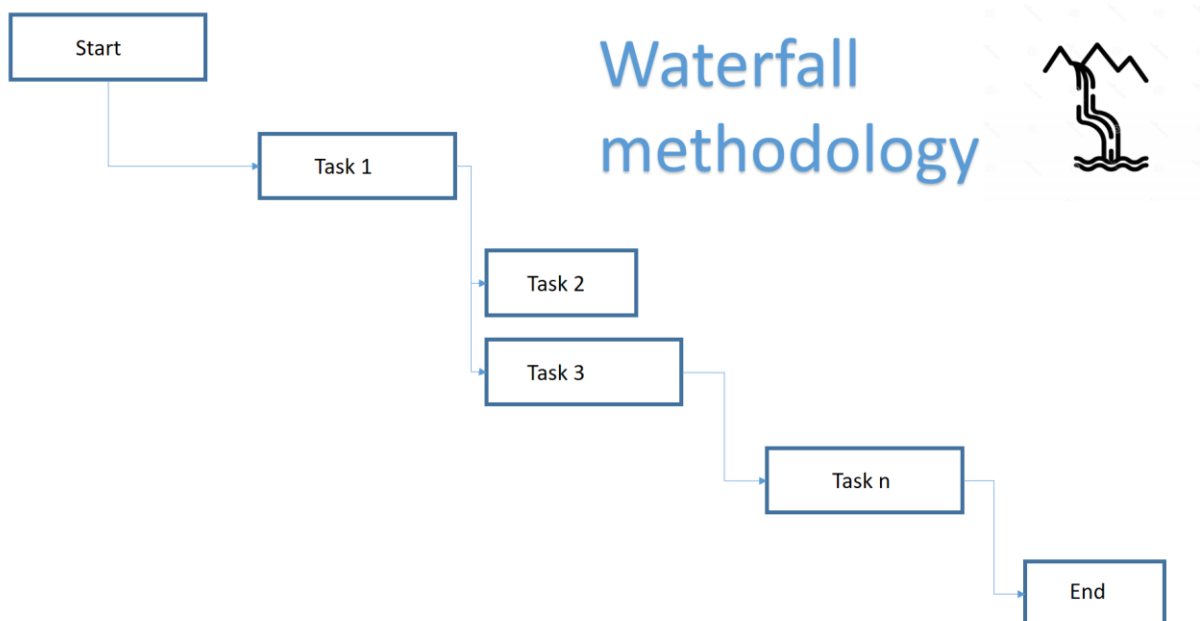


Ilustración 1. Planificación predictiva (Elaboración propia)

Para poder gestionar cada proceso, se emplean hitos que suelen ser definidos al inicio del proyecto a modo de guía para tener referencias intermedias del cumplimiento de los plazos. Las tareas se suceden de una a otra y cada una inicia cuando la anterior ha llegado a su fin, lo que caracteriza la rigidez de esta metodología debido a que se minimizan los márgenes posibles entre los eventos y cambios en la programación.

En todo proyecto, se aspira a finalizar en el menor tiempo posible, lo que se puede conseguir con los métodos tradicionales ya que el proceso se desencadena en su tiempo justo y debido, siempre y cuando se realicen con éxito los distintos trabajos y se empleen correctamente los recursos.

Los métodos predictivos son muy convenientes para proyectos que cumplen ciertos grados de estandarización y no suelen sufrir cambios. No permiten flexibilidad y mejoran considerablemente en proyectos cuya investigación ya se ha realizado anteriormente, lo que se traduce en menor posibilidad de cambios y solo requieren ser implementados correctamente.

La metodología predictiva requiere sentido de la responsabilidad y un profundo conocimiento del proyecto y la tecnología. Si de algún modo los representantes del proyecto no son capaces de educar al equipo de proyecto con información exacta, el producto final no cumplirá los requisitos del cliente y dará lugar a nuevos cambios, que pueden llevar mucho tiempo y acarrear más costes.

El uso de este tipo de planteamiento se recomienda para aplicaciones como:

- Proyectos familiares a los trabajadores
- Proyectos con especificaciones invariables
- Equipos de trabajo grandes y extensamente distribuidos
- Project managers que no hayan trabajado con otras metodologías diferentes

2.1.2 METODOLOGÍAS ÁGILES

Las metodologías ágiles también se conocen como adaptativas, ya que la raíz de su desarrollo es poder amoldarse a los cambios en el alcance y desarrollo de los proyectos. El modus operandi de los métodos ágiles se puede asemejar al anterior en tanto que se realiza una planificación con hitos, programaciones y dependencias entre partes y tareas de los proyectos, con la premisa de que se permite una notable flexibilidad durante el desarrollo de los mismos, adaptándose a los posibles requisitos y exigencias cambiantes.

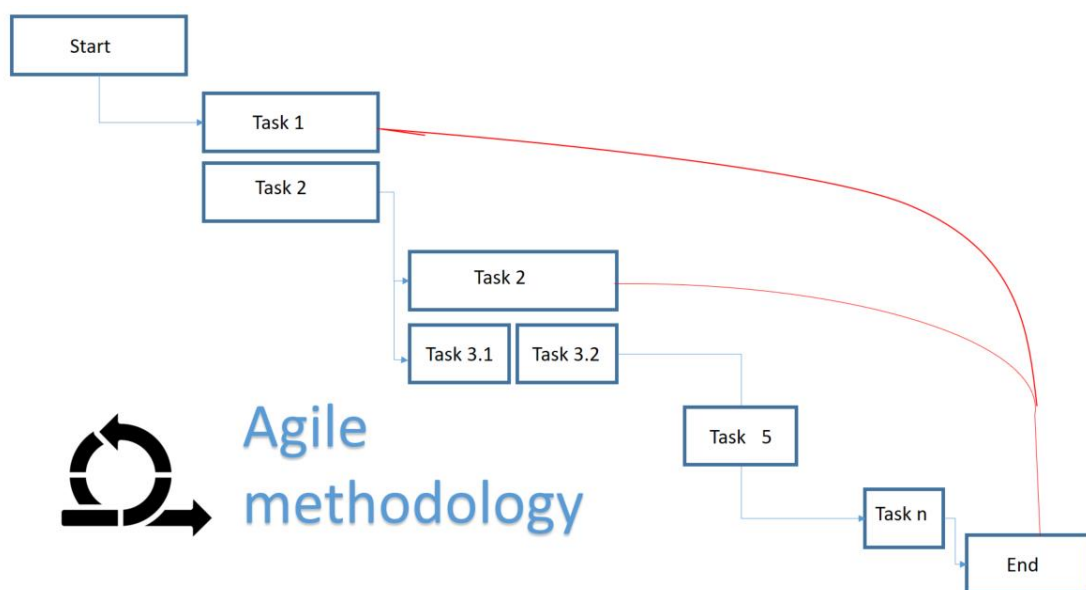


Ilustración 2. Planificación ágil (Elaboración propia).

Trabajar de esta manera permite a los trabajadores involucrados adoptar una mentalidad diferente, debido a que los retos y objetivos son a un plazo más corto. Cada equipo conoce cuales son sus obligaciones y metas en un periodo concreto, sin embargo no conocen el detalle de toda la duración y desarrollo del proyecto debido a que el ciclo de trabajo es breve e iterativo.

En el modelo adaptativo, los equipos trabajan hacia atrás a partir de la fecha de finalización deseada. Cada tarea se define junto con su peor fecha de finalización posible y luego se agrupa con otras tareas con plazos similares en sprints. Las dependencias entre cada tarea no se determinan necesariamente. Esto permite un modelo más flexible que permite más margen de maniobra para ajustar los recursos alrededor y permite iteraciones debido a la innovación o el cambio de alcance.

Aunque se puedan finalizar tareas con mucha antelación, es posible que la fecha final del proyecto se mantenga debido a limitaciones de otros eventos, por lo que se debe optar por mantener los plazos establecidos, garantizando más calidad y flexibilidad.

Las metodologías adaptativas se suelen emplear en proyectos con clientes que requieran de un cambio constante y frecuente. Pese a que el trabajo iterativo pueda dar lugar a pensar que se está aumentando el plazo de finalización, este método resulta ser más rápido en comparación con el predictivo por su flexibilidad, además de que al poder realizar cambios, el producto final puede moldearse y ser más innovador.

Una de las principales características es la estrategia que se adopta, incluyendo los siguientes pasos:

- Desglose de la conceptualización del proyecto y sesiones de lluvia de ideas
- Planificación detallada y producción de componentes del proyecto
- Entrega de los componentes para recibir comentarios de las distintas partes interesadas
- Recepción de comentarios y aplicación de cambios en los diseños del proyecto y actualización de los objetivos
- Producción del componente del proyecto bajo los parámetros redefinidos del proyecto

Las metodologías ágiles se suelen escoger en proyectos de propiedades como:

- Proyectos en constante evolución y con un cierre indeterminado.
- Equipos organizativos bastante flexibles y adaptables a los cambios.
- Cuando el equipo del proyecto es reducido y pequeño
- Cuando el calendario es flexible
- La empresa pertenece a un sector que evoluciona rápidamente.
- El gestor del proyecto tiene experiencia en metodología ágil y puede dirigir al equipo con eficacia.

En cualquier caso, ambas metodologías presentan fortalezas y debilidades, que se relacionan con el objeto del proyecto a desarrollar, por lo que hay que comprender la naturaleza del mismo para saber qué es más conveniente. Una de las soluciones más resolutivas suele ser emplear una combinación de las metodologías en cascada y las adaptativas.

Una de las estrategias a las que se acude ante la mezcla de métodos es seccionar el proyecto por etapas, prevaleciendo el enfoque ágil en los primeros eventos del proyecto ya que requieren validación y posibles cambios de rumbo, y un enfoque más lineal en las fases finales de ejecución y conclusion.

2.2 PROCESOS Y ÁREAS DE CONOCIMIENTO DE PMBOK

El PMBOK o Project Management Body of Knowledge, es una guía elaborada con el fin de que los jefes de proyecto puedan consultar y apoyarse en una base de ideas y parámetros clave que se relacionan con la gestión de proyectos.

Los comienzos del PMBOK se deben a la creación del Project Management Institute (PMI), que tenía el objeto de formar una comunidad en la que compartir y acudir a todo tipo de facilidades para la gestión. Con los años ha evolucionado hacia una guía de estandarización de metodologías de project management que permiten recoger las prácticas que se han adoptado por cualquier entidad o persona. (Project Management Institute, 2017)

Esta guía se organiza en diferentes fases o grupos de procesos que engloban toda la gestión de proyectos y entre ellos encontramos:

Iniciación

Caracteriza todas las actividades y trabajos que permiten moldear los primeros rasgos de un proyecto, definiendo así el comienzo. En esta fase se deben diferenciar todos los trabajos y fases que van a componer el proyecto, para permitir organizar tanto el personal como el presupuesto y arrancar el proyecto con la mejor estructura posible.

Planificación

Define numerosos conceptos de los proyectos como alcance, estrategia a seguir para el desarrollo, requerimientos, prioridades y todo aquello que se pueda estructurar para facilitar un avance claro y objetivo. En esta etapa se plantean todas las tareas de cada proceso, su duración y cómo se relacionan entre sí. El objetivo principal de la fase es cumplir los objetivos establecidos, en tiempo, en presupuesto o en las limitaciones que se definan.

Ejecución

Se relaciona con la realización de los eventos establecidos anteriormente. Es una fase muy crítica ya que en ella se consumen todos los recursos del proyecto, tanto económicos como materiales o de personal, siendo por tanto determinante para los resultados. Suele ser una etapa con mucho cambio, ya que el cliente suele tomar decisiones a medida que el proyecto va tomando forma.

Monitoreo y control

Fase muy caracterizada por su naturaleza cíclica, ya que los jefes de proyecto deben continuamente revisar cómo progresa cada tarea y comprobando la correcta realización de las mismas. No se define como una etapa que abarque un periodo intermedio de tiempo, sino que desde el comienzo hasta el final, se debe estar comprobando el estado de cada componente del proyecto.

Los seguimientos se suelen llevar a cabo con ciertas prácticas; tramitando los cambios necesarios, cumpliendo con los requerimientos económicos y eliminando todos los imprevistos que vayan surgiendo con el devenir del proyecto.

Cierre

Etapa final del proyecto, en ella se entrega el producto al cliente si queda satisfecho con los resultados. Se suelen realizar diferentes trabajos con él, como entrega de la documentación requerida, pruebas del producto final y cumplimiento de las mismas y evaluación conjunta. También incluye trabajos internos para mirar hacia atrás, valorando cada acción y su consecuencia, para posibles mejoras futuras.

El PMBOK también se define por sus áreas de conocimiento, que permiten a los jefes de proyecto un desarrollo con un enfoque más general y ayuda a que no se pase por alto ninguna disciplina. Estas áreas son las siguientes:

1. **Integración:** Agrupación de toda la información que se tiene de un proyecto para su gestión en aspectos generales, sin entrar en detalles sobre las partes de cada proceso.
2. **Alcance:** Consiste en definir el objetivo que tiene el proyecto, permitiendo a todos los implicados conocer qué utilidad tiene el trabajo que se va a poner en marcha. Se aclaran todos los requerimientos que van a existir y cómo se va a estructurar el método de trabajo.
3. **Tiempo:** Gestión temporal que los empleados dedican a cada tarea de cada proceso, desde el detalle más concreto a la visión más global del tiempo que ocupa el proyecto.
4. **Coste:** Organización del plan económico del proyecto, se tienen en cuenta todos los gastos de cada área y disciplina para poder estimar una cantidad real y acorde a los que se va a consumir.
5. **Calidad:** Se centra en los estándares que permiten el cumplimiento de unos requisitos establecidos, pasando desde las primeras fases del proyecto hasta las últimas y estudiando cada disciplina, planificar, gestionar y controlar las calidades tanto del producto como de todos los elementos que conforman el proyecto.
6. **Adquisiciones:** Envuelve todo lo relacionado con los procesos necesarios para que se puedan añadir cosas al inventario del proyecto. El alcance no es solo del comprador si no que también se ha de gestionar parte del trabajo del proveedor.
7. **Recursos humanos:** Estudia que necesidades tiene el equipo que va a afrontar cada proceso, desde las posibles herramientas materiales que puedan ser necesarias, como herramientas de inteligencia y habilidades.
8. **Comunicación:** Área que garantiza la transmisión correcta y fluida de información entre todas las disciplinas que conforman el proyecto y entre las diferentes etapas del mismo, tanto internamente como externamente.
9. **Gestión de riesgos:** Estudio de todas las posibles amenazas de cada etapa de los procesos, no solo basta con conocerlas sino que se debe realizar un análisis detallado durante todo el ciclo del proyecto.
10. **Gestión de stakeholders:** Conocimiento de que partes se interesan y relacionan con el proyecto, teniendo en cuenta las características de cada una. Además del cliente, se encuentran proveedores, subcontratados, inspectores...

2.3 SCRUM

El SCRUM se puede definir como una de las múltiples maneras de aplicar las metodologías ágiles. Su origen se remonta a mediados de los 80', a raíz de observaciones de Ikujiro Nonaka y Takeuchi de métodos de trabajo de algunas grandes manufactureras como Honda o Fuji, (Hirotaka Takeuchi e Ikujiro Nonaka, 1986).

La inspiración de este marco de trabajo se debe al juego del rugby, ya que los jugadores deben juntar sus fuerzas y trabajar juntos para ganar la posesión del balón haciendo una melé, palabra que da nombre y aspectos principales a la metodología.

En sus principios el SCRUM se empleó en el desarrollo de softwares para equipos tecnológicos, pero con el paso del tiempo y su uso, se ha convertido en una de las formas más reconocidas y utilizadas a la hora de emplear metodologías ágiles en la gestión de proyectos de todo tipo.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS

El Scrum, comparte muchos rasgos con otras herramientas de las metodologías ágiles debido a que surgen de la misma naturaleza, pero también incluye algunos que fueron pioneros y son los siguientes:

- Se emplea con la finalidad de aumentar la producción y la calidad de la misma.
- El trabajo se organiza en tareas pequeñas e iterativas que se van entregando poco a poco a medida que avanza el proyecto, y por tanto el producto.
- El hecho de realizar estas entregas, dota a la entidad productora de transparencia, colaboración y flexibilidad, una de las características principales de las metodologías ágiles
- Desarrollo exponencial, debido a que conforme se realizan los sprints, el producto va mejorando en mayor medida que en la entrega anterior
- Simultaneidad en las tareas, que se pueden sobreponer las unas con las otras, aumentando la agilidad de los procesos
- Priorización de las tareas pendientes más importantes para progresar con criterio.

2.3.2 HERRAMIENTAS

Como todo marco de trabajo, el Scrum está compuesto por ciertas herramientas que permiten su implementación y que podrían considerarse jerárquicas.

- Product Backlog: Es la herramienta más importante, consiste en la realización de un inventario, unas especificaciones y unos requerimientos del producto para posteriormente ordenar las listas de trabajo según la prioridad. Se tienen que tener en cuenta la descripción, la identidad, la estimación de la complejidad y el valor del producto. Se somete a modificaciones continuas, ya que
- Sprint Backlog: Es un tablero con las tareas a desarrollar de un product backlog en cada sprint y estado. Permite hacer un seguimiento activo y conocer el estado en el que se encuentran las tareas en cada momento. Al igual que la herramienta predecesora, suele sufrir modificaciones constantemente. Un ejemplo del sprint backlog podrían ser los tableros kanban.
- Incremento: Se define como las entregas de cada sprint backlog. Cada incremento es una versión actualizada del anterior, pero con mayor utilidad y más desarrollada. Lo que caracteriza la naturaleza incremental del scrum.

SCRUM PROCESS

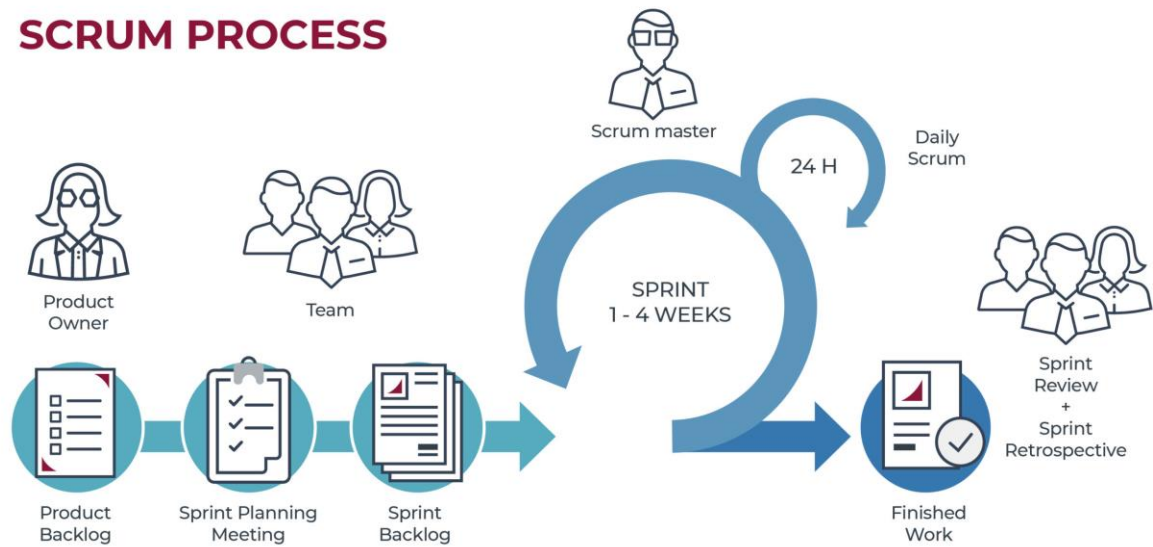


Ilustración 3. Herramientas del Scrum (UEMC Business School, 2022)

2.3.3. ROLES

Las personas implicadas en el Scrum, se pueden agrupar en 3 clases:

- **Product Owner:** Es el rol que más peso conlleva y se relaciona con los interesados finales del producto. Las principales tareas que realizan son gestionar el product backlog, intermediar con el cliente, valorar las entregas y tomar decisiones para crear un negocio factible.
- **Scrum Master:** Como su nombre indica, es el experto en Scrum que lidera el equipo. Se encarga de la realización de los procesos pertinentes estableciendo normas, métodos, planificaciones, soluciones y lecciones a los demás trabajadores.
- **Scrum team:** Equipos de 3 a 9 personas que desarrollan el producto y se encargan de llevar a cabo las entregas. Las áreas de trabajo que les envuelve son muy diversas y los equipos en conjunto deben ser auto-suficientes para desempeñar su trabajo.

2.3.4. EVENTOS

Se establecen 5 eventos, con el fin de mejorar la fluidez de la información entre miembros y reducir el tiempo de elaboración del producto

- **Sprint Planning:** Tomando el product backlog, los equipos seleccionan las tareas más prioritarias y establecen un plan de trabajo, estas reuniones no deben ser muy extensas y producen un sprint goal (objetivo final del sprint) y un sprint backlog.
- **Daily Scrum Meeting:** Reunión llevada a cabo cada día de menos de un cuarto de hora, en la que los equipos comparten las tareas en las que van a trabajar durante el día y los posibles retos relacionados.

2.4 LEAN MANUFACTURING

2.4.1 SISTEMAS PRODUCTIVOS

Un sistema productivo se encarga de crear unos servicios o productos a partir de materiales, personal, capital, servicios e información, a parte de unos subproductos indirectos que se suelen despreciar, como impuestos, contaminación, empleos, desarrollo tecnológico...

Además, el producto que resulta debe ser vigilado por un subsistema de control para asegurar ciertas condiciones de calidad, precio, cantidad, etc...

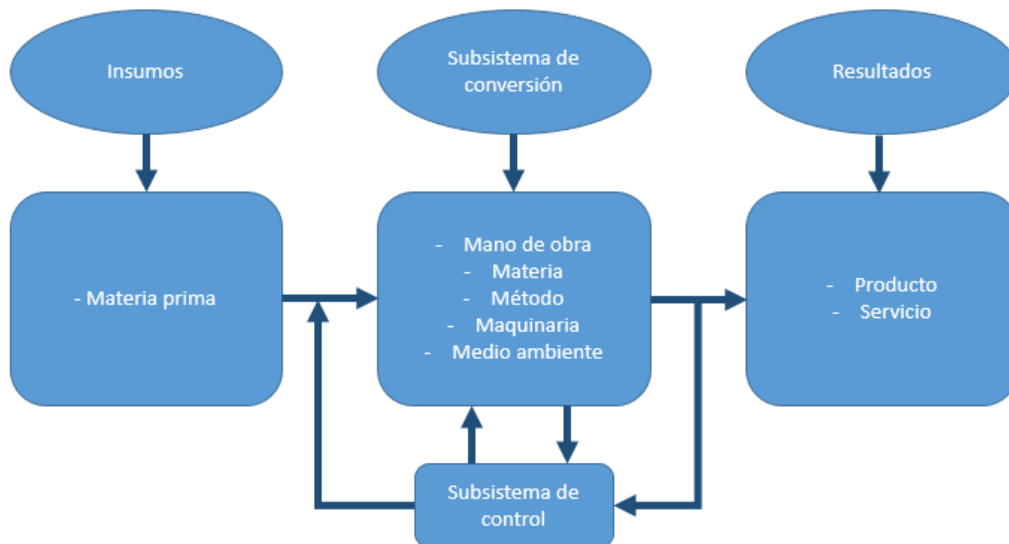


Ilustración 4. Sistemas productivos (Elaboración propia)

Podemos realizar una clasificación de los sistemas productivos según sus características.

- Producción en taller (sistema de producción intermitente): se producen pequeños lotes de productos y las máquinas se agrupan por procesos similares. se producen pequeños lotes de productos y las máquinas se agrupan por procesos similares, que no tienen un sistema secuencial entre sí. por lo que las existencias se acumulan entre estaciones. Presenta un alto grado de complejidad y dificultad, debido a las propias características del sistema.
- Producción por lotes (sistema de producción discontinua): Es utilizado por empresas que producen un producto cada vez. Este tipo de producción implica que cada operación produce un número predeterminado de piezas, denominado lote, antes de pasar a la siguiente operación., por lo que el material en proceso, o WIP, es muy alto. La maquinaria está dispuesta de forma continua.
- Producción masiva (sistema de producción continua): La producción se caracteriza porque el producto se fabrica y ensambla de forma continua, siguiendo un recorrido predeterminado, conectado por un sistema de manipulación de materiales. Este sistema de producción asigna a cada trabajador una función específica y especializada en cada máquina o trabajo requerido.
- Procesos de flujo continuo (sistema de producción continua): Este tipo de sistema de producción es utilizado por empresas con productos continuos, como productos químicos, alimentos, aceites, líquidos, materiales de construcción y acero que fluyen siempre en una secuencia de operaciones determinadas por las características del producto.

2.4.2 PROGRESO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

Para comenzar a detallar los sistemas productivos necesitamos remontarnos a los comienzos de la industria del automóvil del siglo XIX. Con el tiempo han ido evolucionando pero aun así podríamos diferenciar tres modelos de producción muy definidos en base a sus características como métodos de producción, roles de trabajadores, tipo de producto, objetivos de la empresa... Pudiendo distinguir Producción Artesanal, Producción en Masa y Producción Ajustada o Lean Manufacturing.

2.4.2.1 PRODUCCIÓN ARTESANA

La Producción Artesana o Craft Production se considera como el primer sistema de producción. Sus orígenes datan de finales del siglo XIX cuando la empresa francesa Panhard et Levassor construyó los primeros automóviles. Ya para 1905 cientos de compañías en Europa y América del Norte estaban fabricando automóviles utilizando este método de producción.

A pesar de que la industria del automóvil avanzó hacia la producción en masa, todavía existen algunas empresas muy selectas que han sobrevivido utilizando este sistema de producción. Se enfocan en un mercado de compradores que desean productos únicos o personalizados.

En resumen, las características de la producción artesana son las siguientes: la mano de obra se caracteriza por ser altamente capacitada en diseño, operaciones de la maquinaria y ajustes de los materiales y realizan todos los pasos del proceso; los productos son personalizados y únicos para cada cliente, por lo tanto no son estandarizados, de bajo volumen de producción, emplean una alta variedad de partes, presentan altos costos de producción, consiguen una buena calidad pero variable, utilizan máquinas multipropósito, es frecuente el retrabajo y las piezas de repuesto debían ser fabricadas para cada producto en particular.

2.4.2.2 PRODUCCIÓN EN MASA

Con los métodos de trabajo implantados por Henry Ford al construir el Modelo T en el 1908, se inicia una nueva etapa en la evolución de los sistemas productivos. Consiguió fabricar un producto diseñado para ser manufacturado, fácil de utilizar y reparar por cualquier persona, logrando reducir el costo por productos.

“La clave de la producción en masa no fue la cadena de ensamble móvil o continua, como creían y creen muchas personas todavía, sino más bien, la completa y consistente intercambiabilidad de partes y la sencillez para ensamblar unas con otras” (Womack, J., Jones, D. and Roos, D., 1990)

Este sistema de producción se caracteriza porque emplea una mano de obra altamente especializado, como consecuencia surgieron las profesiones especializadas y trabajos indirectos (ingeniero industrial, encargado de mantenimiento, producción, calidad, limpieza, etc.), los trabajadores son poco calificados, hacen una tarea específica; los productos son estandarizados, fáciles de usar y reparar, cualquier trabajador poco calificado podía ensamblar las partes, circulan por una cadena de ensamble continuo, requiere menor tiempo de entrenamiento al personal y la gerencia es quien toma las decisiones

Sin embargo, este sistema de producción presenta algunas desventajas ya que está enfocado en volumen y no en calidad, no existen relaciones de larga duración con proveedores, utilizan maquinaria dedicada y el trabajo es repetitivo y monótono, poco flexible, mucho tiempo para cambiar de un modelo a otro, poca variedad de productos y sobre todo poca motivación de los trabajadores.

Casi medio siglo después, situaciones económicas importantes llevaron a que la industria automovilística evolucione y de esta manera el sistema de producción en masa fue reemplazado por Lean Manufacturing.

2.4.2.3 LEAN MANUFACTURING

Tras la Segunda Guerra mundial, la compañía automovilística más importante de Japón, Toyota, vió que el método de trabajo de la producción en masa no les convenía por diversas situaciones del país. Como resultado, sus ingenieros Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, iniciaron lo que Toyota llamaría el Sistema de Producción Toyota, y que más tarde sería Lean Manufacturing. Esta filosofía de trabajo ha sido divulgada en todo el mundo y puesta en práctica por diferentes sectores productivos tanto de servicios como de manufactura

Lean Manufacturing es un sistema integrado socio-tecnológico de mejoramiento de procesos, cuyo objetivo principal es eliminar desperdicios o actividades que no agregan valor al cliente. Al eliminar desperdicios la calidad aumenta mientras que los tiempos y costos de producción disminuyen en muy poco tiempo.

Este sistema, en general se caracteriza porque emplea personal capacitado, los cuales son agrupados en equipos donde son tratados con respeto, se les asignan responsabilidades, tienen derecho a proponer mejoras, autoridad de detener la producción en caso de detectar algún error, se enfocan en obtener productos de alta calidad, bajo coste de producción y variedad en el producto enfocados en las necesidades de los clientes, establecen relaciones de larga duración con proveedores y clientes, logran cortos tiempos de fabricación del producto y buscan la mejora continua.

	Pre-industrial 1890 Producción Artesana	Producción en masa 1910	Producción Lean 1980
Mano de obra	Personal altamente capacitado	Personal altamente especializado	Empleados capacitados
	Trabajador realiza todos los pasos del proceso	Trabajador solo realiza una tarea	Grupo de empleados trabajando en equipo
	Personal con conocimientos en diseño, mantenimiento y materiales	Mano de obra poco calificada	Asignación de responsabilidades
	Auto-aprendizaje	Profesiones especializadas	Derecho de proponer mejoras
Producto	Productos personalizados	Productos estandarizados	Enfocado en el cliente
	Variación en calidad	Enfocados en volumen no en calidad	Buena calidad
	Bajo volumen de producción	Fáciles de usar y reparar	Variedad de productos
Ambiente laboral	Gran variedad de trabajos	Gerencia toma las decisiones	Respeto por los empleados
	Organizaciones descentralizadas	Trabajo repetitivo y monótono	Cortos tiempos de fabricación del producto
	Maquinarias multipropósito	Maquinarias dedicada	Mejora continua

Ilustración 5. Evolución de los sistemas productivos. (Rainer Erne, 2022)

2.4. MARCO HISTÓRICO Y DESARROLLO DE LEAN MANUFACTURING

Todo comenzó con la compañía automovilística Toyota, la cual se originó en Japón en 1937 cuando la familia Toyoda decide cambiar su negocio de fábrica textil por el negocio de automóviles. En ese momento el mercado del automóvil estaba dominado por los dos grandes de Estados Unidos, Ford y General Motors, por lo que Toyota se enfrentaba a un gran reto.

Tras la Segunda Guerra Mundial, Toyota se enfrentaba con una serie de situaciones que llevaron a sus dirigentes a buscar soluciones, por ejemplo el mercado era pequeño, sin embargo demandaba una gran variedad de vehículos, los empleados, incluyendo a los inmigrantes, exigían mejores condiciones de trabajo que las que se ofrecían hasta el momento, no contaban con recursos económicos para comprar las tecnologías de producción del occidente y la competencia de productores de automóviles en el extranjero era bastante fuerte. Esto último conllevó a que el gobierno japonés creara una ley que prohibía las inversiones extranjeras en el país.

En 1950 Eiji Toyoda fue a visitar una planta de Ford en los Estados Unidos para estudiar el sistema de producción en masa. Tras analizar cada movimiento del sistema, quedó convencido de que esta metodología de trabajo no podía ser utilizado en Japón, ya que el pequeño mercado de Japón no justificaba los grandes volúmenes de producción, típicos de Ford y GM.

Con estas limitaciones y con la flexibilidad y sencillez de los equipos con que contaban en la empresa, Taiichi Ohno se dedicó a desarrollar un nuevo enfoque en la producción, ya que conocía las debilidades de la producción en masa y sabía que la producción artesana no convenía cuando se quería producir altos volúmenes. Como resultado de muchos años de labor y aprendizaje surgió el Sistema de Producción Toyota (SPT).

Descubrió que costaba menos producir cantidades pequeñas de un producto por dos razones: producir pequeñas cantidades ahorra dinero y espacio en la empresa de mantener el inventario, como se requería en la producción en masa; la otra razón, más importante aún, en caso de que hubiese algún defecto era posible detectarlo inmediatamente. Esto conllevó a que todo el mundo estuviese más consciente de la importancia de la calidad.

Otro aspecto importante en el SPT fue la gran reducción en los tiempos de cambios en las máquinas. Esta reducción de tiempos de cambios fue más estudiada por Shigeo Shingo⁵, quien fue contratado en 1955 como consultor, y desarrolló el cambio de herramienta en un minuto (SMED). Esto le permitió producir una mayor variedad de productos en lotes pequeños a un costo competitivo y pudiendo adaptar la demanda con diferentes modelos a la producción. La reducción de tiempo implicaba a la vez una simplificación de la ejecución de los cambios, por lo que los operarios eran entrenados para realizar la operación.

Toyota creó una nueva política con respecto a la fuerza de trabajo. Los trabajadores pasaron a formar parte de la comunidad Toyota creando buenas relaciones con los trabajadores, recibiendo un pago basado en la antigüedad en la empresa y no por una función en específico. Lo que quería decir que un empleado que tenía 35 años trabajando en una posición X, ganaba más que otro que tenía 5 años trabajando en la misma posición. Además, estaban vinculados con los beneficios de la compañía recibiendo bonos y tenían garantizado un empleo de por vida.

Los trabajadores fueron agrupados en equipos de trabajos, a quienes se les asignaba un conjunto de actividades del proceso y eran dirigidos por un líder de equipo. Se les dio la libertad de hacer propuestas de cómo mejorar el proceso. Esta forma continua de mejora se llama “kaizen”. Asimismo, se les otorgó la responsabilidad de detener la línea de producción desde que surja un problema que ellos no puedan resolver. Utilizando los “5 Whys” de Ohno, los trabajadores estudiaban las causas de los problemas para encontrar la causa raíz y de este modo evitar que vuelvan a suceder.

Mientras este sistema se fue desarrollando, estaba siendo pasado por alto por las demás empresas Japonesas. Con la crisis de petróleo en 1973 la economía de Japón se vio bien afectada, sin embargo Toyota logró sobrevivir a las condiciones problemáticas con éxito, sobresaliendo entre las demás. Este hecho fue lo que inspiró a las demás empresas a implementar el sistema de producción. Para finales de los años setenta, estas empresas ya presentaban ventajas competitivas frente a las demás con producción en masa.

2.5 LEAN PROJECT MANAGEMENT

2.5.1 PILARES DEL SISTEMA

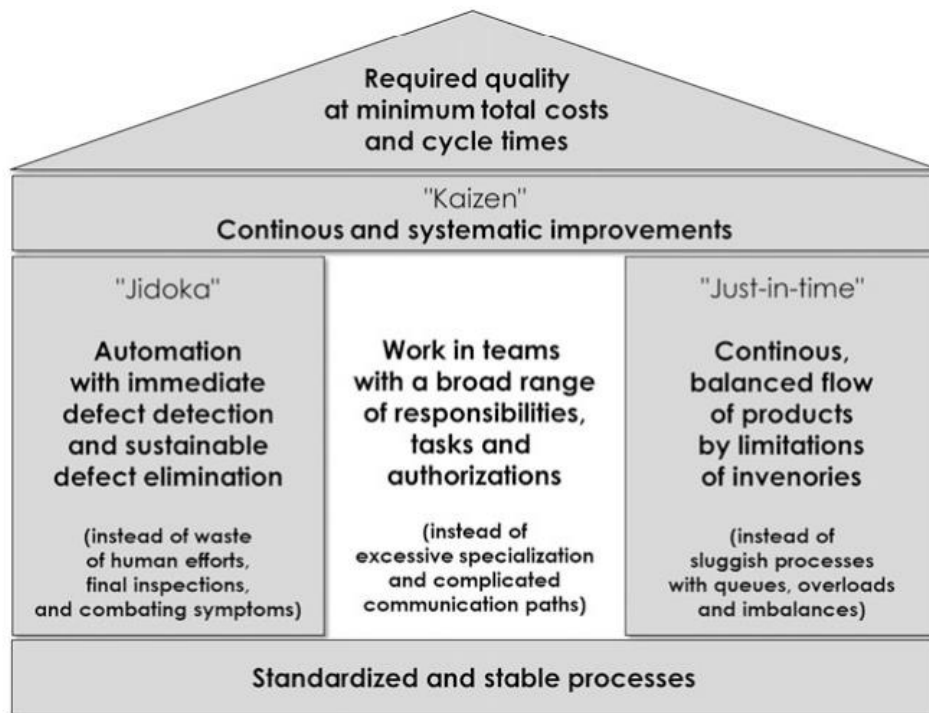


Ilustración 6. Pilares del sistema de producción de Toyota (Rainer Erne, 2022)

La primera medida que introdujo el director de la planta de Toyota City, Taiichi Ohno, fue el trabajo en equipo para evitar la especialización innecesaria. A cada equipo se le asignaron varias fases del proceso de producción, incluidas tareas menores de inspección de calidad, reparación, mantenimiento y limpieza. Una vez que se demostró que esto funcionaba, se asignó a los equipos la tarea adicional de mejorar sus propios procesos de trabajo una vez a la semana. Este método se conoció posteriormente como **"círculos de calidad"** y el principio subyacente como **"kaizen"**, es decir, la tarea de mejoras continuas e incrementales de los propios procesos de trabajo. A dichos equipos se les asignó la tarea de identificar otras fuentes de despilfarro en su entorno laboral inmediato, como la sobreproducción, las esperas, los transportes innecesarios, los procesos excesivamente complejos, las existencias innecesarias, los movimientos redundantes o los defectos de los productos. El reto consistía en ampliar el ámbito de trabajo y en aumentar la exigencia de flexibilidad, lo que requería tiempo y esfuerzo. Además, Ohno colocó una cuerda en cada equipo para que cada trabajador de la cadena de montaje pudiera detener inmediatamente todo el proceso de producción en cuanto surgiera un problema. A continuación, todo el equipo debía resolver el problema.

Más tarde, el principio de detección y corrección inmediata de problemas se automatizó dotando a las máquinas de producción de una función de parada automática en cuanto se producían irregularidades. Ohno llamó a esto **"autonomización"**, **"automatización inteligente"** o **"jidoka"** y clasificó este principio como primer pilar de apoyo del Sistema de Producción Toyota. Gracias a él debían revisarse los cuestionables mecanismos de control de procesos de las plantas de producción estadounidenses. Dado que en las plantas estadounidenses sólo los jefes de línea podían parar las cadenas de montaje, el resultado era que las piezas defectuosas o mal montadas podían llegar hasta el final del proceso. El principio **"jidoka"** planteaba las siguientes cuestiones: en primer lugar, cómo se define un **"defecto"** en cada caso y, en segundo lugar, cómo se podría establecer una resolución de defectos inmediata y sostenible. En el sistema de producción Toyota, un defecto significa cualquier desviación de la norma, por lo que un alto nivel de normalización de los procesos de trabajo es un requisito previo indispensable para la detección de defectos. Para una resolución de defectos inmediata y sostenible, Ohno sugería preguntarse cinco veces por la causa de un síntoma irregular, como la parada repentina de una máquina, y no conformarse con la respuesta superficial al primer **"¿por qué?"**.

En tercer lugar, se introdujo un principio de control de procesos **"Just in time"**, que Ohno clasificó como el segundo pilar de apoyo del Sistema de Producción Toyota. La idea básica era la inversión del principio de control en la producción en masa estadounidense: mientras que en esta última el material de producción creaba la demanda para el proceso de producción, que debía ser "empujado" a través del proceso de producción, en la planta Toyota la demanda debía iniciarla el producto final, que "tira" de todos los pasos precedentes del proceso ("principio de arrastre"). El principio "justo a tiempo" se aplicó mediante el **"sistema Kanban"**, basado en la idea del supermercado estadounidense: cada estación de producción toma de un contenedor únicamente los artículos que necesita en ese momento. A continuación, el contenedor se rellena. Este sistema redujo considerablemente las existencias circulantes y, en la misma medida, aceleró los tiempos de producción. El reto consistía en conseguir que todo el sistema funcionara de forma continua, con tiempos de espera y de inactividad idealmente nulos.

2.5.2 FUNDAMENTOS DE LEAN MANAGEMENT

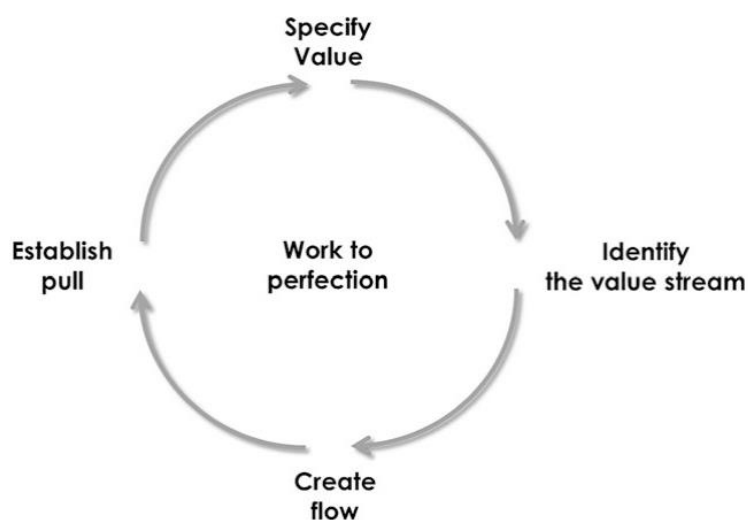


Ilustración 7. Principios de la Idea 'Lean' (Rainer Erne, 2022)

"Especificar el valor": Especificar el valor del trabajo desde la perspectiva del cliente. En primer lugar, hay que identificar y especificar el valor de un resultado para el cliente final. Esto constituye el punto de referencia para todas las actividades posteriores. El trabajo que no aporte un valor atractivo para el cliente a un precio concreto es el primer y quizá la mayor forma de desperdicio.

Otro enfoque que puede tener sería una actividad por que el consumidor está dispuesto a consumir o contratar, desde el principio de un producto hasta el final, pasando por todas las fases del procedimiento de creación; desarrollo técnico, comprobaciones de calidad... Mediante este enfoque es más sencillo identificar qué aspectos no son de valor para el cliente, ya que nos permite evaluar aspectos irrelevantes como el transporte o el embalaje de un producto.

"Identificar el flujo de valor": Una vez que se ha aclarado qué significa "valor", las actividades que generan este valor pueden identificarse y ponerse en secuencia. Hay que tener cuidado que cada actividad contribuya realmente al valor especificado para el cliente. Todo lo demás puede y debe eliminarse o al menos "racionalizar".

"Crear flujo": Una vez definido el flujo de valor para el cliente, hay que hacer que esta estructura fluya, dando prioridad a la finalización de los entregables independientemente de los límites de trabajo, departamento u otros límites estructurales y eliminando cualquier obstáculo que impida un flujo continuo. De este modo, los entregables pueden realizarse con un coste total mínimo y en los plazos más breves posibles.

"Establecer pull": Cada etapa del proceso de creación de valor "obtiene" el trabajo que hay que hacer de la etapa anterior. De este modo, el flujo del flujo de valor "tira" del resultado, no "empuja" desde el inicio del proceso. De este modo se garantiza que sólo se proporcionen los entregables demandados por el cliente. También permite al cliente pedir valor a la organización y recibirlo cuando lo solicite.

Pull vs. Push Production

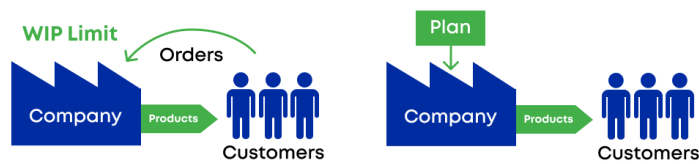


Ilustración 8. Producción pull vs push (Business Map, 2019)

"Trabajar hasta la perfección": Los cuatro primeros principios mencionados se refuerzan mutuamente en una estructura circular. Si se ponen en práctica, cada vez se hacen visibles más obstáculos y oportunidades de mejora. Añadir valor para el cliente al mínimo coste y en el menor plazo posible es un objetivo relativo que constituye la base de un esfuerzo continuo y sistemático de mejora del sistema global.

2.5.3 TIPOS DE DESPERDICIO

Como método para estudiar estructuralmente cualquier tipo de proceso, analizan los desperdicios posibles para lograr un conocimiento desde las raíces de que cosas no están aportando valor al proyecto.

El final del Lean Project Management es clasificar estos despilfarros para garantizar la mejora continua, eliminando todo aquello que no aporte nada al cliente. Se distinguen 7 tipos de desperdicios más notables aunque puedan haber muchos otros secundarios, a lo largo del transcurso normal de un proyecto; desde que se recibe el mismo hasta que se entrega al cliente.

2.5.3.1 SOBREPDUCCIÓN

Este despilfarro se da cuando la producción no se ajusta a la demanda, pues se crean productos que realmente no son necesarios para el cliente y sin que haya un requerimiento previo. Al generar más producto del demandado, se originan problemas como:

- Costes económicos, ya que no se recibe una compensación monetaria al no haber un cliente
- Mayor ocupación del espacio físico
- Ausencia de un feedback del producto, de forma que no se pueden analizar las posibles características positivas ni negativas

Las causas de la sobreproducción pueden ser varias, entre ellas se encuentran:

- Fabricación en grandes lotes a modo de optimización
- Trabajar con el método push
- Errores de planificación
- Fabricación adelantada para no parar la cadena
- Deficit de comunicación con el cliente

Se pueden tomar diferentes medidas para ajustar la producción a la necesaria y la principal y más relacionada con el LPM es trabajar con el método “pull”. Es decir, que el cliente muestre sus necesidades y se produzca acorde a lo que se requiera.

2.5.3.2 INVENTARIOS

Se da cuando el producto, ya sea materia prima, en curso o final, se acumula de forma excesiva generando algunos efectos negativos entre los que se encuentran:

- Menor espacio físico para almacenar
- Detiorio y posible disminución del valor de los productos
- Aumento de los costes

Este acopio innecesario de material se puede deber a razones como:

- Mala gestión de las planificaciones
- Paradas de mantenimiento excesivas
- Uso del método push
- Sobreproducción

Como se puede deducir, este despilfarro se relaciona con el anterior. En muchas ocasiones ambos desperdicios son considerados como beneficios para las compañías, ya que representan un valor ya producido y ahí reside el peligro de los mismos, pues puede tonarse la situación y pasar a ser perjudicial.

Las soluciones a su vez también se asemejan a las de la sobreproducción, implementando una metodología push y organizando una planificación mas eficiente.

2.5.3.3 DEFECTOS

Aquello que causa una mala experiencia para el cliente por no cumplir con sus expectativas o con el grado de calidad acordado, que pueden dar lugar a:

- Aumento del coste al tener que modificar el producto
- Reestructuración y retraso en la planificación
- Trámites respectivos
- Empeoramiento de las relaciones con los clientes

Se pueden deber a múltiples causas como:

- Sobreproceso
- Tiempos de espera
- Transporte

El hecho de llevar material de un lugar a otro de una forma mal organizada, puede dar lugar a un malgasto de tiempo y con ello a no ser productivo, lo que puede traducirse en:

- Posibles daños materiales y físicos
- Consumo económico y del tiempo
- Retraso del proyecto

Las razones más comunes para un transporte ineficiente son:

- Fabricación a escala desmesurada
- Sobreproducción
- Gestión deficiente de la logística

2.5.3.4 DESPLAZAMIENTOS

Hace referencia a todos los movimientos físicos que no aportan valor en cualquier fase del proyecto, dando lugar a una mala gestión temporal, que provocan:

- Retardo del flujo de trabajo
- Aumento del tiempo del proyecto
- Sobrecostes
- Posibles accidentes o acotencimientos relacionados con el propio desplazamiento

Para mitigar este desperdicio se puede plantear una reestructuración de la manera de trabajo, de las costumbres adquiridas y de una mejora de la organización tanto del lugar de trabajo como de la estructura del personal, ya que las posibles causas son:

- Lugar o forma de trabajo mal gestionados
- Reuniones innecesarias
- Desconocimiento de los empleados

2.5. LEAN PROJECT MANAGEMENT VS METODOLOGÍAS ÁGILES

A pesar de que el lean project management se nutra de numerosos rasgos de las metodologías ágiles, son conceptos diferentes que nacen de una filosofía específica, por lo que cada metodología posee ciertos pilares y características diferentes. (Sara S. Badran, 2024)

A continuación, se muestran las características de cada método, primero de Lean Management y posteriormente de Agile management, en base a ciertos conceptos como el origen, la innovación, estructura...

Lean Project Management

- Enfoque: La idea fundamental es que los elementos que no aporten valor al proyecto se minimicen, de forma que prevalezcan aquellos que sean útiles.
- Origen: La idea nace de un cambio estructural realizado por las fábricas de Toyota para mejorar la producción.
- Planificación: La gestión temporal se basa en que el cliente reciba el producto sin adelantos ni retrasos (JIT), y que a lo largo de la producción se empleen procesos iterativos que den lugar a un proyecto continuo.
- Desarrollo: Se centra en el cumplimiento constante de lo que se ha establecido en la planificación, y a pesar de que se itere en algunos procesos, la línea base de trabajo es continua.
- Adaptación: Se aceptan cambios pero con objeto de mejorar continuamente.
- Cliente: Se establece una relación cercana aunque no necesariamente se involucre en la actividad.
- Estructura: Se crean grupos pequeños de trabajo que conforma una estructura jerárquica.
- Liderazgo: Hay un gestor marcado que guía los equipos.
- Documentación: Se busca minimizar los documentos que no aporten valor y faciliten la información.
- Control: Llevado a cabo por las personas y por el diseño de los procesos del proyecto.
- Comunicación: No se utiliza el registro formal y avanza escalonadamente por la jerarquía empresarial.
- Innovación: No se limita en ningún aspecto, para evolucionar hacia la mejora continua.
- Coste: Se trata de minimizar mediante la disminución del desperdicio.

Agile Management

- Enfoque: El principal objetivo es crear un proyecto muy flexible y adaptable a cualquier ámbito.
- Origen: Surge del desarrollo de software, lo que se relaciona con el enfoque adaptable ya que el software se aplica a cualquier industria o trabajo.
- Planificación: Se establece un plan acorde a las iteraciones de los procesos y con un desarrollo del diseño que no cesa de cambiar.
- Desarrollo: Los procesos son puramente iterativos ya que la naturaleza del desarrollo del software lo requiere.
- Adaptación: Es ilimitada, se pueden realizar cambios con total flexibilidad y el personal tiene la capacidad de modificar tanto como quiera.
- Cliente: Se establecen relaciones muy estrechas en las que el cliente participa en ciertas partes del proyecto e interactúa con gran frecuencia.
- Estructura: Los roles son amplios y pueden ser intercambiados, lo que produce una estructura poco definida con mucha modificación.
- Liderazgo: Ausencia de la imagen de un líder, los equipos de trabajo son autosuficientes.

- Documentación: de igual manera, también se minimiza.
- Control: Se encarga de llevarlo a cabo el personal y los cambios se aceptan fácilmente.
- Comunicación: También es informal y se realiza horizontalmente, acorde a la estructura no jerárquica.
- Innovación: Abre las puertas a nuevas tecnologías y a una entrega de producto más ágil.
- Coste: No es de importancia.

Concepto	Lean Management	Agile Management
Enfoque	Prioriza la reducción del desperdicio y maximización del valor	Se centra en la adaptabilidad y flexibilidad
Origen	Manufactura	Desarrollo de software
Planificación	- Just in time - Procesos repetitivos - Diseño continuo	- Planificación iterativa - Desarrollo del diseño continuo
Desarrollo	- Cumplimiento diario de la planificación - Línea de trabajo definida con poca iteración	Desarrollo iterativo
Responsabilidades & adaptación	Flexible con limitaciones	- Flexible al cambio - Alta capacidad de personalización - Manejo eficiente de la variedad
Cliente	Cercano pero sin involucración frecuente	- Altamente involucrado - Interacción constante
Roles	- Estructura jerárquica con roles definidos - Equipos de trabajo pequeños	- Intercambiables y multifuncionales - Modificación constante de la estructura del equipo - Equipos autoorganizados con roles flexibles
Liderazgo	Líder diferenciado	Equipos autosuficientes
Documentación	Mínima	Mínima
Control y cambio	- Centrado en las personas y el diseño - Cambios dirigidos por procesos específicos	- Centrado en las personas - Acepta el cambio y se adapta a las nuevas necesidades
Comunicación	Informal y descendente	Informal y abierta
Innovación	Sin restricciones	- Favorece las innovaciones tecnológicas - Nueva agilidad del producto
Coste	Reducido por la eliminación del desperdicio	No es una preocupación

Tabla 1. Lean vs Agile Management (Elaboración propia).

3 PROYECTOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Los proyectos de ingeniería, son aquellos destinados a aplicar conocimientos científicos y técnicos para resolver problemas mediante soluciones prácticas. Suelen atender necesidades de un cliente para desarrollar una nueva tecnología o mejorar un área que requiere una evolución.

Se definen por múltiples características como la constancia de una fecha de inicio y de fin, un objetivo establecido, un Project manager que lidera el proyecto y el empleo de recursos tanto de personal como económicos o materiales, para poder desarrollar la actividad.

En nuestros tiempos, las industrias de ingeniería son las encargadas de producir la mayoría de existencias del mundo y a pesar de la gran cantidad de industrias que existen, las principales son las siguientes.

Ingeniería civil: Se centra en aplicar conocimientos de cálculo, mecánica, física ... etc, a la construcción de infraestructuras, garantizando el correcto diseño y la practicabilidad de los materiales empleados para las construcciones.

A día de hoy destacan dos grandes ramas revolucionarias para el desarrollo de la ingeniería civil;

- Infraestructura Resiliente: Construcción sostenible que cumple con normativas como el Código Técnico de Edificación (CTE), incluyendo sistemas energéticos renovables⁵.
- Smart Cities: Proyectos que integran tecnología IoT para mejorar la gestión urbana (tráfico, energía, agua)

Ingeniería mecánica: Estudia el diseño y creación de sistemas mecánicos. Posee una gran aplicabilidad y las principales herramientas de estudio son la física, la termodinámica y la dinámica de fluidos.

Las principales áreas de estudio actuales son:

- Biomecánica: Diseño de sistemas como scaffold y osteosíntesis para reparación ósea, combinando análisis biológico y mecánico.
- Automoción: Innovaciones en diseño y fabricación de piezas automotrices, incluyendo sistemas de carga basados en volantes de inercia.
- Sistemas Industriales: Desarrollo de sistemas automatizados para manipulación, apilamiento y almacenamiento en procesos industriales

Ingeniería de materiales: Rama encargada del estudio molecular y del comportamiento de todo tipo de materiales. Generalmente se suele aplicar en las ramas de la construcción y de la fabricación.

Ingeniería eléctrica: Encargada de diseñar y calcular los requerimientos eléctricos de la maquinaria e instrumentación que se emplea en cada sector. Las tendencias que destacan podrían ser;

- Redes Inteligentes (Smart Grids): Optimización del flujo eléctrico mediante tecnologías avanzadas que integran fuentes renovables como solar y eólica.
- Movilidad Eléctrica: Desarrollo de vehículos eléctricos autónomos e infraestructura para estaciones de carga rápida.
- Automatización Energética: Uso de inteligencia artificial para mantenimiento predictivo y gestión eficiente de redes eléctricas³.

Ingeniería energética: Se focaliza en la transformación y el comportamiento de la materia y la energía. Actualmente es una de las ramas en mayor desarrollo debido a que se busca la obtención de energía mediante medios no contaminantes como la energía solar, eólica, hidráulica o térmica entre otras.

Su prosperidad es tal debido a:

- Energías Renovables: proyectos de instalaciones fotovoltaicas, aerotermia y sistemas de carga eléctrica para vehículos, integrados con tecnologías de eficiencia energética.
- Gestión Energética: Implementación de sistemas de monitorización y control para optimizar el consumo energético en edificios y procesos industriales.
- Microrredes Inteligentes: Desarrollo de redes eléctricas descentralizadas que integran fuentes renovables, mejorando la sostenibilidad y la confiabilidad del suministro eléctrico.

Ingeniería química: Se ocupa de los productos químicos, diseñando y fabricando materiales y productos utilizando principios científicos de la química, la biología, las matemáticas y la física. También pueden idear procesos innovadores para utilizar y transformar la energía.

Los proyectos más punteros son los siguientes:

- Procesos Sostenibles: Rediseño de procesos industriales para reducir emisiones contaminantes y optimizar el uso de recursos.
- Materiales Avanzados: Desarrollo de nuevos polímeros, compuestos y catalizadores para aplicaciones en energía y manufactura.

Ingeniería de alimentos: Desarrolla e innova en las tecnologías y estudios relacionados con la producción de alimentos y en gran parte con la salud de los seres humanos y animales que necesitan alimento. Destacan las siguientes áreas de investigación.

- Impresión 3D de Alimentos: Esta tecnología permite crear productos alimenticios personalizados, adaptados a necesidades dietéticas específicas y preferencias individuales, además de contribuir a la reducción del desperdicio alimentario.
- Sistemas ERP Especializados: La adopción de sistemas de planificación de recursos empresariales específicos para la industria alimentaria está optimizando los procesos de producción y distribución.

Ingeniería Aeroespacial: Rama encargada del diseño de soluciones motorizadas que se desplazan a través del aire y/o espacio. La industria aeroespacial está experimentando una transformación radical con innovaciones que están redefiniendo el futuro de la exploración espacial y la aviación:

- Propulsión Avanzada: Se están desarrollando alternativas competitivas a los motores convencionales, como dispositivos eléctricos de propulsión espacial basados en plasma para satélites y motores reutilizables para lanzadores.
- Materiales de Vanguardia: La innovación en aleaciones metálicas y materiales compuestos está produciendo componentes más fuertes, ligeros y resistentes al calor. Se investigan intensamente aleaciones de aluminio, litio y titanio, así como compuestos de matriz metálica.

Como se ha podido apreciar, hay numerosas áreas de la ingeniería que proponen diversos proyectos. El factor de interés es la posibilidad de aplicar las metodologías ágiles a cualquiera de las ramas que se han detallado y a cualquiera del inmenso número de proyectos posibles que se encuentran a diario.

4 APLICACIÓN DE LEAN PROJECT MANAGEMENT A PROYECTOS DE INGENIERÍA

4.1 HERRAMIENTAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LPM

4.1.1 VSM

Las siglas VSM hacen referencia a Value Stream Mapping, en Español, mapa de flujo de valor. Es una herramienta muy útil para establecer una visualización de los flujos que componen cualquier tipo de proceso.

El Value Stream Mapping (VSM) consiste en organizar en forma de diagrama cada paso de los flujos de materiales e información necesarios para llevar un producto desde el pedido hasta la entrega. Se trata de una herramienta fundamental en la mejora continua para identificar y eliminar los residuos. Toyota desarrolló la herramienta que denomina diagrama de flujo de materiales e información y es una parte fundamental del SPT.

Un flujo de valor son todas las acciones (tanto las que crean valor como las que no) necesarias para llevar un producto desde la materia prima hasta los brazos del cliente.

El VSM suele comenzar con la creación por parte de un equipo de un mapa del estado actual. Esto significa capturar el estado real del flujo de materiales e información de un flujo de valor. Posteriormente, el equipo dibuja un mapa del estado futuro. Es decir, una imagen objetivo de cómo deberían fluir el material y la información a través del flujo de valor.

Hacer esto una y otra vez es la forma más sencilla y mejor de enseñarse a uno mismo y a su ambiente. El mapa del flujo de valor se utiliza sobre todo en Lean Manufacturing. Sin embargo, cualquier sector puede sacarle partido.

Esta herramienta, nos aporta los siguientes beneficios:

- Identificar y eliminar el desperdicio
- Visualizar de forma general la corriente de flujo
- Facilitar una mejora continua

Para dar forma un VSM, se deben seguir los siguientes pasos;

1. Identificar los productos, operaciones y personal implicados.

El primer paso es definir que proceso queremos tratar y mejorar, escogiendo los productos que vamos a estudiar en el VSM.

A continuación se establece el alcance del estudio, desde dónde nace nuestro VSM y hasta donde vamos a profundizar durante el proceso. Además, se fija un objetivo al que pretendemos llegar con el estudio.

Para seguir, es necesario distinguir las operaciones y tareas que se desarrollan en el proceso al igual que todas las personas que se ven relacionadas con cada etapa. Esto nos va a permitir conocer el estado actual del proyecto.

Para trabajar eficientemente, debemos valorar que productos son mas significantes para el desarrollo, ya que no suele ser posible estudiar todos y cada uno de ellos, de forma que trabajemos con los que provoquen grandes resultados en nuestro estudio. De esta misma manera, los productos deberían tener un nº máximo de operaciones.

2. VSM del estado actual

En esta etapa, vamos a conocer la situación del proyecto y entregar una funcionalidad, de una manera realista y objetiva, para poder aclarar puntos de mejores y posibles escenarios futuros.

En él, introducimos toda la información antes recopilada; operaciones, personas y tecnología implicada, añadiendo los flujos de información que se produzcan, las medidas necesarias y el tiempo dedicado.

Este VSM es de vital importancia ya que nos permite comparar y confirmar con el VSM futuro, que los cambios y mejoras introducidas han sido de utilidad.

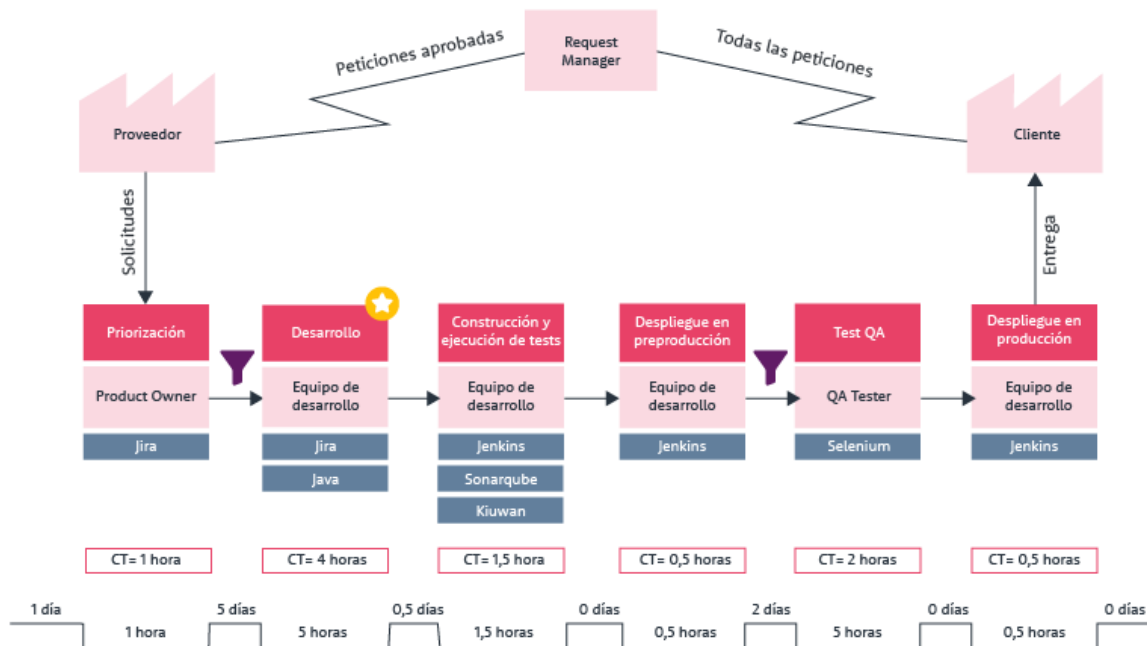


Ilustración 9. VSM actual (Sentry, 2018)

Se pueden distinguir tres zonas:

- **Flujo de información:** En la parte superior del diagrama se aprecian los intercambios de información que suceden en el proceso.
- **Flujo de producción:** Bajo el flujo anterior se secuencia en proceso; actividades, personas y datos de cada parte del proceso. Se pueden emplear herramientas adicionales como el tiempo de ciclo, para implementar posibles mejoras, en este caso para reducir el tiempo de espera de cliente.
- **Línea de tiempo del flujo de valor:** En el inferior, se representa una línea del tiempo, que muestra la expansión temporal de cada etapa y el tiempo que hay entre ellas.

3. Analizar el estado actual

En este análisis, se estudian las posibles áreas de mejora, los causantes de los errores o problemas y las diferentes mejoras resolutivas que se pueden implementar.

Dicho estudio es muy variable, ya que según el tipo de proyecto y área, pueden haber infinidad de contratiempos y de soluciones respectivas.

4. Diseñar el VSM futuro

El mapa del valor futuro, se plantea para el mejor de los casos posibles, en el que se cumplen todos los objetivos y el cliente resulta satisfecho, por lo que debemos plantearlo al contrario del desarrollo del proyecto. Comenzamos por el final, según lo que marquen los objetivos y diseñaremos los procesos necesarios para lograrlos.

Esta herramienta nos permite tener beneficios como:

- Menores tiempos de espera
- Mejores flujos de información
- Visión general del proyecto en todas sus fases
- Menores tiempos de producción

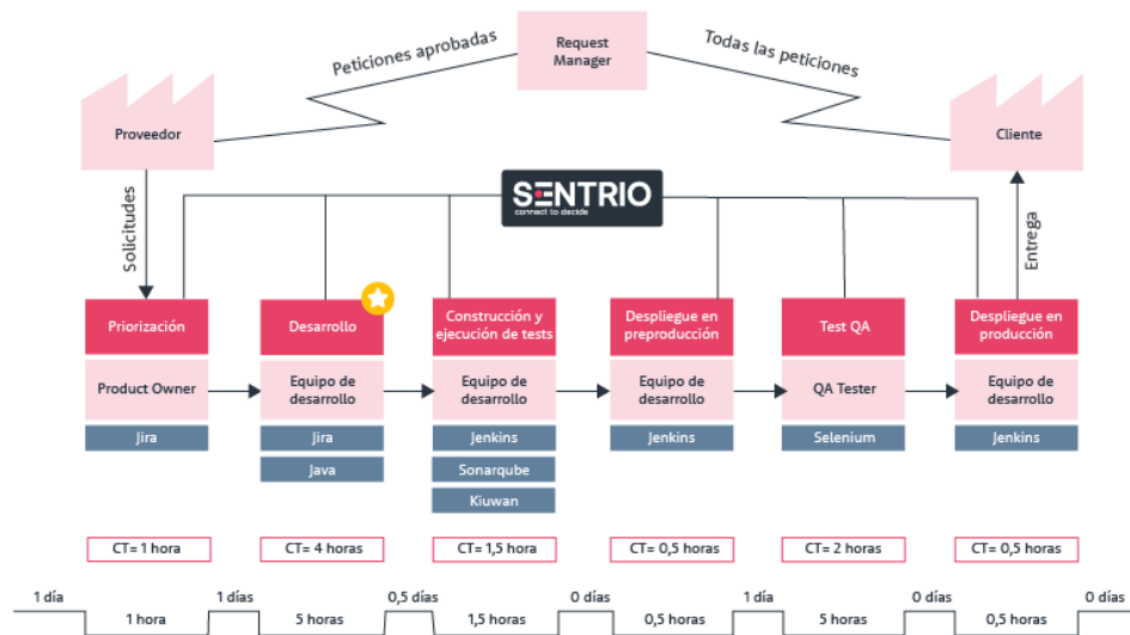


Ilustración 10. VSM futuro (Sentrio, 2018)

5. Implementar un plan de acciones de mejora

Con el VSM futuro simplemente se analiza el caso ideal, pero no nos garantiza el cumplimiento de los requisitos, por lo que se debe establecer un plan de acciones de mejora, centrándonos en los posibles problemas, sus causas y sus soluciones, reflejando fechas y responsables.

Se debe incluir un seguimiento y un estudio de los resultados, con los dos VSM del estado actual y futuro, podemos realizar comparativas para valorar el funcionamiento o no de las soluciones que hemos propuesto.

4.1.2 5S

Esta herramienta, se compone de 5 bloques en los que se puede instalar la producción en flujo, el control visual y marcar una de las bases del Lean Project Management, Justo a Tiempo (JIT). (Hiroyuki Hirano, 2012)

Las 5s provienen de 5 palabras Japonesas:

- Seiri: Arreglo apropiado u organización
- Seiton: Orden
- Seiso: Limpieza
- Seiketsu: Estado de limpieza
- Shitsuke: Disciplina

El objetivo de la herramienta es aumentar la eficiencia de los procesos y homogeneizar el trabajo, dando lugar a menos defectos, mejora de los plazos, aumento de la productividad, mejor mantenimiento, más calidad, crecimiento corporativo.

1. Seiri (Organización)

Consiste en eliminar de los procesos todo lo que no es primordial y necesario, cosas que no cumplen funciones útiles. De esta forma diferenciamos entre lo que no se necesita y se retira.

Para conseguir diferenciar entre lo que no aporta valor, se toman como apoyo varias herramientas que permiten realizarlo más fácilmente:

- Inventario de gastos extra
- Un espacio donde almacenar o agrupar las cosas que no son necesarias
- Carros de transporte extra
- Reorganizar el flujo de materiales

Una de las herramientas más empleadas para esta S es la tarjeta roja, que facilita la ejecución de la organización.

ALMACÉN DE REFACCIONES		No.
TARJETA ROJA		
Fecha:	Turno:	
Responsable:		
Material/Artículo:		
Cantidad:		
PLAN DE ACCIÓN		
Buscar código		
Reubicar		
Codificar		
Eliminar		
Otro(especifique):		
Comentario:		
Fecha p/concluir acción:		

Ilustración 11. Tarjeta Roja 5s. (Vicente Hinojosa Barrios, 2019)

2. Seiton (Orden)

La palabra seiton hace referencia al orden. En este apartado se propone ordenar aquellos elementos necesarios para la realización de las tareas. De este modo, se definen las ubicaciones y se establecen las identificaciones necesarias para cada objeto. Mediante las identificaciones se mejora la búsqueda y retorno de los objetos en el espacio de trabajo, de ese modo cada objeto tiene su sitio y existe un sitio para cada objeto.

La resistencia al cambio y la poca disciplina por parte de los operarios para retornar las cosas a su sitio es uno de los mayores inconvenientes a la hora de realizar una correcta aplicación del seiton.

Para una correcta implantación se deben aplicar los siguientes recursos:

- Delimitación de áreas de trabajo, zonas de paso y almacenaje de herramientas, materias primas u otros.
- Evitar herramientas duplicadas.
- Obtener un lugar adecuado de trabajo
- Es imprescindible identificar el flujo de herramientas u objetos en el espacio de trabajo y disponerlos en los lugares idóneos según su frecuencia de uso. De este modo, se facilita la rapidez en las operaciones, asegurando la calidad y evitando accidentes. Para determinar el nivel de utilización del uso de los objetos se utiliza el círculo de frecuencia de uso que aparece a continuación.



Ilustración 12. Características de Seiton. (Paulina Rewers, 2016)

3. Seiso (Limpieza)

Este pilar es aplicable a cualquier circunstancia, casas, fábricas, oficinas, procesos productivos ... Y pese a que se suele subestimar, es de vital importancia ya que permite desarrollar un ambiente de trabajo óptimo.

El hecho de que cada persona se encargue de su propia limpieza es muy fructífero, ya que es conocedor a la perfección de su máquina, área laboral u organización empresarial. Además de limpiar, se buscan soluciones preventivas para evitar tener que repetir este proceso con mucha frecuencia.

Con el simple hecho de la limpieza, podemos darnos cuenta de que una máquina no funciona, o que la forma de trabajo implementada no es la óptima, lo que trae muchos otros beneficios más allá de la simple limpieza física.

4. Seiketsu (Estandarizar)

Puede ser conocido también como estado de limpieza o de pureza y solo se puede considerar cuando se han cumplido las tres herramientas previas. Consiste en desarrollar unos estándares a cumplir para que se verifiquen la organización, el orden y la limpieza, dando lugar a una mayor facilidad a la hora de llevar a cabo las actividades ya mencionadas.

Esto implica establecer reglas y procedimientos claros para que los trabajadores puedan identificar situaciones anormales y corregir fallos de manera eficiente. Algunas estrategias para estandarizar incluyen:

- **Listas de verificación:** Crear listas de control para asegurarse de que todas las tareas de limpieza y organización se realicen de manera consistente.
- **Nombrar responsables:** Asignar responsabilidades específicas a los miembros del equipo para diferentes tareas de limpieza y organización.
- **Capacitación:** Proporcionar capacitación regular para asegurarse de que todos los empleados entiendan y sigan los estándares establecidos.

5. Shitsuke (Disciplina)

Por último se establecen unos hábitos para lograr que los pilares se sigan cumpliendo con el paso del tiempo. Normalmente la responsabilidad de garantizar una disciplina recae sobre los directivos, ya que son el ejemplo para el resto de empleados.

Este resulta ser uno de los pasos más sencillos de la herramienta, pero a su vez de los más complicados. Es sencillo porque únicamente se trata de mantener el estado de las cosas y aplicar las normas establecidas, por otro lado, es de las más complejas porque se debe mantener el interés del personal a lo largo de la implantación de las 5S.

Beneficios

La implementación de las 5s, trae consigo una serie de ventajas por el modo en el que se trabaja y se caracterizan:

- **Cero despilfarro:** Al eliminarse el desorden, se descarta el exceso de inventario y los movimientos, demoras que el desorden provoca y las acciones que no añaden valor como buscar, coger, colocar...
- **Mejora de la seguridad:** Al mantener la limpieza, salen a la luz más fácilmente los fallos y riesgos de averías, se reduce el peligro de daños por equipos mal ubicados dando lugar a menos accidentes laborales.
- **Menos averías:** La limpieza asegura una mayor vida útil al eliminar la suciedad y el polvo de los equipos.
- **Mayor calidad:** El hecho de mantener los equipos y el entorno de trabajo en unas condiciones óptimas favorece la calidad final del producto.
- **Crecimiento corporativo:** Al trabajar bajo un protocolo establecido, genera un mayor respeto y confianza de los empleados con su entorno, al igual que aumenta la satisfacción del cliente.

Implementación

Para que el método de las 5s proliferen, es de gran ayuda utilizar complementaciones visuales que nos permitan ver el estado de los pilares de una forma más amplia y periférica.

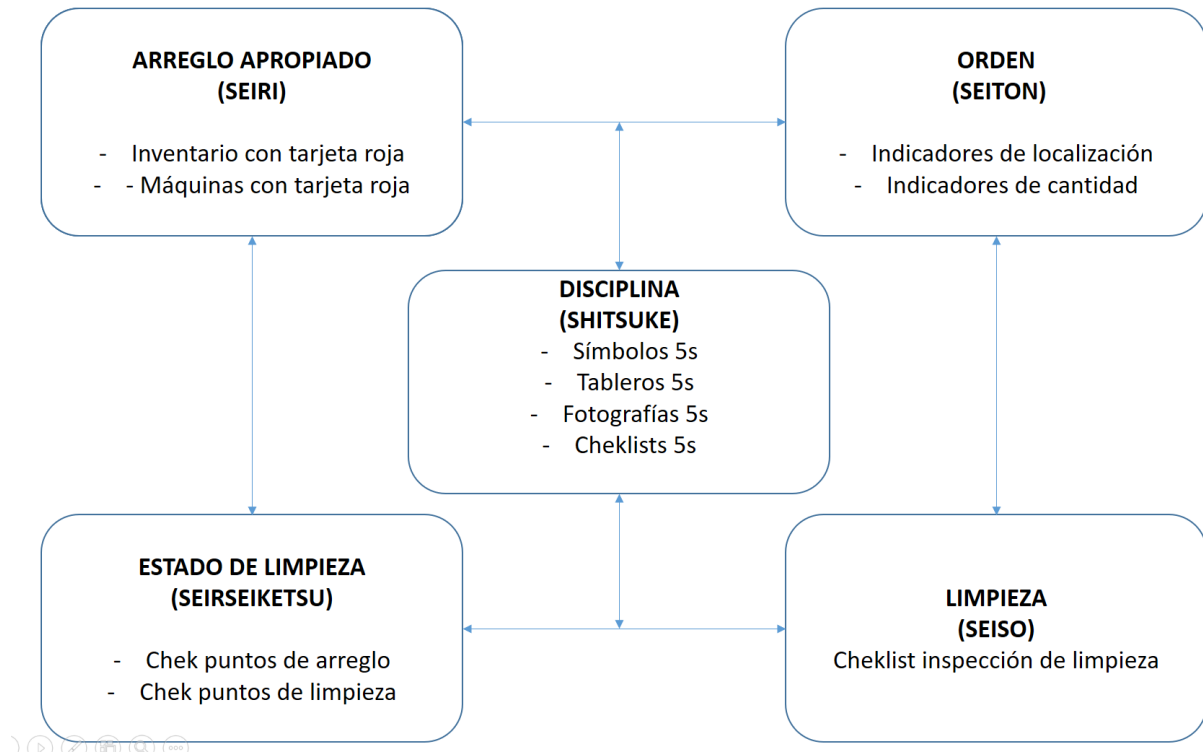


Ilustración 13. Relación de las 5s. (Elaboración propia)

4.1.3 PANEL SQCDP

Un Panel SQCDP es una herramienta visual que muestra métricas de producción y KPI seleccionados en el taller, representando el éxito del equipo en el cumplimiento de estos objetivos específicos.

El acrónimo SQCDP engloba los cinco factores generales de rendimiento que definen las operaciones de fabricación óptimas. En otras palabras, las herramientas visuales proporcionan información sobre seguridad, calidad, coste, entrega y personal.

Normalmente, los fabricantes colocan el cuadro de mandos SQCDP en una zona destacada y muy transitada para que todos los empleados del taller puedan acceder rápidamente a la información. De este modo, el equipo puede seguir fácilmente el rendimiento de la producción, lo que permite una mejora oportuna en todas las categorías. (Patrick Lemay, 2019)

Seguridad:

El aspecto de seguridad de los tableros SQCDP ayuda a rastrear y supervisar diversos elementos de seguridad del proceso de fabricación. Esto incluye métricas como el número de accidentes, cuasi accidentes y otros incidentes de seguridad. Esta información se utiliza para identificar y abordar los posibles peligros para la seguridad, y para garantizar que todos los empleados trabajan en un entorno seguro.

Algunas de las métricas clave que se rastrean incluyen:

- Número de incidentes
- Días sin incidentes
- Acontecimientos que casi conducen a un incidente de seguridad
- Lesiones
- Infracciones de seguridad
- Días perdidos por incidentes de seguridad

Calidad

El aspecto de calidad de los tableros SQCDP se centra en el seguimiento y la mejora de la calidad de los productos fabricados. Esto incluye un enfoque en los defectos de calidad, el retrabajo y las quejas de los clientes. Mediante el seguimiento de estas métricas, los fabricantes pueden identificar las áreas del proceso de fabricación que pueden estar causando problemas de calidad y tomar medidas para solucionarlos.

Algunas métricas de calidad clave incluyen:

- Número de artículos defectuosos o no conformes
- Reclamaciones de los clientes
- Rendimiento de la producción

Coste

El aspecto de costes de los tableros SQCDP se utiliza para rastrear y supervisar el coste del proceso de fabricación. Esto incluye métricas como los costes de las materias primas, la mano de obra y la energía. Mediante el seguimiento de estas métricas, los fabricantes pueden identificar las áreas en las que pueden reducir costes y mejorar la eficiencia. Aquí se incluyen los KPI:

- Coste de inventario
- Coste de residuos y desechos
- Coste de las horas extraordinarias
- Desviaciones de las previsiones de costes

Delivery

El aspecto Entrega de los tableros SQCDP se utiliza para rastrear y supervisar la entrega de los productos fabricados. Mediante el seguimiento de las métricas de entrega, los fabricantes pueden asegurarse de que están cumpliendo las expectativas de entrega de los clientes y pueden tomar medidas para mejorar los plazos de entrega si es necesario. Plazo de entrega

- Entrega puntual
- Cumplimiento total del pedido
- Volumen de producto previsto y volumen real

Personas

El aspecto Personas de los tableros SQCDP se utiliza para seguir y controlar el rendimiento de los empleados en el taller. Esto incluye métricas como la rotación de empleados, el absentismo y la finalización de la formación. Mediante el seguimiento de estas métricas, los fabricantes pueden identificar las áreas en las que necesitan mejorar el compromiso y la satisfacción de los empleados. Por ejemplo:

- Horas extraordinarias
- Cambios de personal
- Tiempo libre remunerado
- Desarrollo de habilidades

Ventajas

Esta herramienta de gestión visual proporciona a las empresas manufactureras una serie de beneficios que, en última instancia, les permiten optimizar las operaciones de producción para el éxito general del negocio. Algunos de los beneficios específicos de los tableros SQCDP incluyen:

- Visibilidad mejorada
- Mayor responsabilidad
- Mejora de la comunicación
- Aumento de la eficiencia
- Mejor control de calidad
- Mayor seguridad
- Mejora de los plazos de entrega
- Compromiso de los empleados

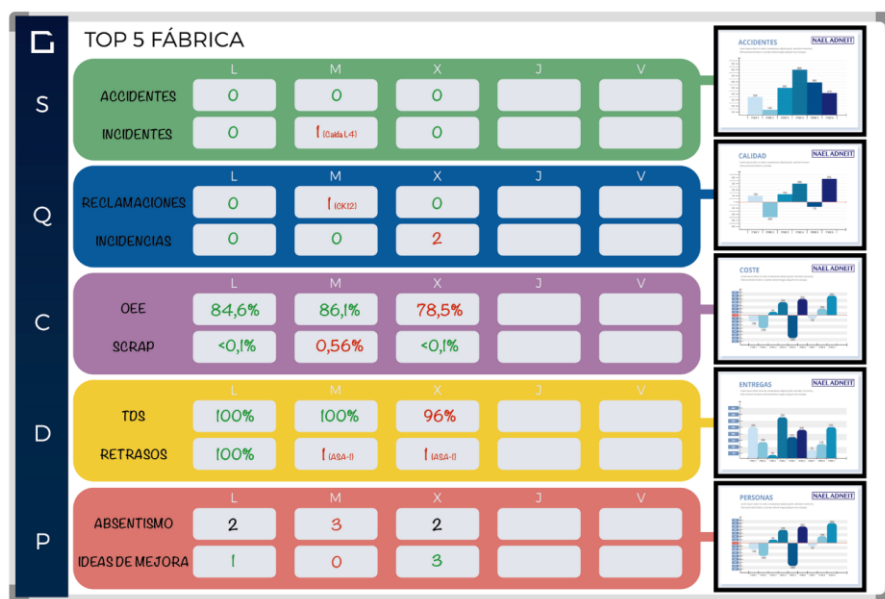


Ilustración 14. Panel SQCDP (Patrick Lemay, 2019)

4.1.4 SMED

SMED, también conocido como Single-Minute Exchange of Die, es una herramienta diseñada con la finalidad de reducir el lead time; tiempo que se emplea en desarrollar una actividad o proceso, disminuyendo los desperdicios ocasionados.

Conceptualmente, consiste en cambiar de un modelo de producto a otro en la menor cantidad de tiempo posible. No llevar a cabo esta práctica produce pérdidas cuantiosas a las empresas ya que proporcionan muchos beneficios. (Lukáš Jurík, Natália Hornáková, 2020)

SMED, permite a las compañías producir de una manera más rápida y eficaz. Una de las principales soluciones es la estandarización, debido a que permite la adaptación de modelos con mucha facilidad, aportando más seguridad y ergonomía.

La implementación de esta herramienta se suele realizar en 4 pasos definidos de la siguiente forma:

1. Estudio preliminar. Consiste en realizar un análisis de los datos que se tienen de cada proceso con el fin de tener una base que poder mejorar. Se toman datos como tiempos de cambio, opiniones del personal, estudiar causas y posibles consecuencias.

Suele ser de gran utilidad alistar todas las etapas y tareas del proceso, revisando uno a uno para evitar posibles fallos de valoración, ya que hay tareas que se pudieran estar realizando erróneamente y no necesitarían avanzar a las siguientes etapas.

2. Separar las actividades de intercambio internas y externas, siendo las internas las actividades que se pueden llevar a cabo durante un proceso y las externas aquellas que necesitan que se pause el proceso para poder ser llevadas a cabo.
3. Convertir actividades internas en externas. Es la etapa de mayor vitalidad del SMED ya que engloba varias áreas que deben estar coordinadas. Se consigue poder realizar el mayor número de actividades posibles mientras que una máquina se encuentra en funcionamiento o un proceso se está llevando a cabo.

Se deben considerar numerosos elementos críticos como el factor humano, la disponibilidad de lugar para el cambio de tareas, las herramientas, el coste, el beneficio, la seguridad...

4. Reducir el tiempo de las actividades internas. Se busca poder realizar simultáneamente el mayor número de actividades posibles, ya que en la mayoría de casos el tiempo empleado en dos actividades es menor que el empleado en dos actividades consecutivas. Ejemplo; un operario que pueda hacer funcionar dos máquinas a la vez, va a tardar la mitad que en trabajar con una y luego con otra.

Adicionalmente, hay muchas otras formas de reducir el tiempo de las actividades internas, como estandarizando la metodología de los procesos, estableciendo una buena preparación previa o mejorando los métodos de transporte.

Tras haber realizado todas las etapas correspondientes, es conveniente analizar el comportamiento de los cambios y evaluar las mejoras que se han obtenido

La utilización del SMED como herramienta en Lean Management, ofrece los siguientes beneficios:

- Aumento de la simplicidad del cambio
- Establecimiento de unos estándares de operación
- Estructuración del área de trabajo
- Aumento en la flexibilidad del proceso
- Personal con menos requerimientos técnicos
- Mejoras en la relación con el cliente y el personal
- Inventarios y lotes de menor tamaño
- Mayor productividad y rentabilidad

(Patricia Bonilla, Juan Carlos Monge, 2008)

4.1.5 KANBAN

En japonés, Kanban significa "tarjeta", "etiqueta" o, incluso, "tablero". Por lo que esta herramienta para LPM, se organiza en torno a la aplicación de ciertos principios y con la ayuda de tarjetas que permiten una mejor visualización del trabajo por hacer.

Esta técnica es particularmente adecuada para una metodología ágil que trabaje en modo iterativo. Ciclos cortos que permiten una entrega más rápida de la característica esperada son implementados, dentro de un proceso de mejora continua. (Lean y Kanban, 2022)

Principios de la metodología Kanban

Visualización del Flujo de Trabajo: Esta herramienta utiliza tableros visuales para representar el flujo de trabajo. Estos tableros están divididos en columnas que muestran las diferentes etapas del proceso, y las tarjetas Kanban representan las tareas en cada etapa. Esto permite identificar cuellos de botella y mantener el enfoque en el trabajo en progreso.

Límite del Trabajo en Curso (WIP): Limitar el trabajo en curso evita la sobrecarga y minimiza el desperdicio de sobreproducción y tiempo de espera. Esto asegura que los items fluyan más rápidamente a través del sistema y se entreguen más rápido al cliente.

Mejora Continua: La metodología Kanban fomenta la mejora continua a través de la identificación y eliminación de desperdicios. Esto se logra mediante prácticas como Kaizen, que son eventos para rediseñar procesos y eliminar desperdicios, y a través de la retroalimentación constante. (John Kotter, 2019)

Tarjetas Kanban

Las tarjetas que se emplean en la metodología se relacionan con las tareas a realizar del proyecto, que se representan con etiqueras en columnas según se encuentren; en proceso de estudio, por hacer, en progreso, a validar, finalizadas.

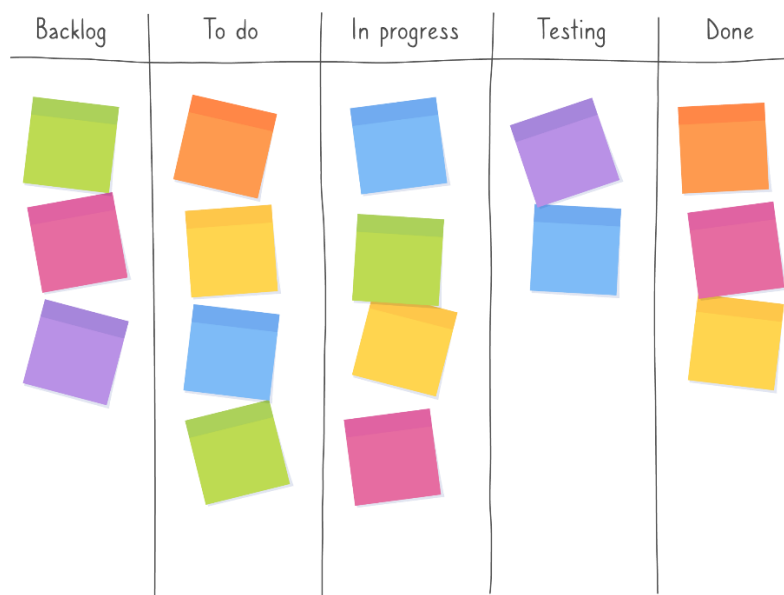


Ilustración 15. Tarjeta Kanban (Sergio Enrique Zamora, 2020)

4.1.6 PDCA

Con el constante desarrollo de las industrias los trabajadores y empresarios buscan incesablemente mejorar el conocimiento técnico y los sistemas que se emplean para poder ser más competitivos. Esta es una de las bases de LPM, la mejora continua de calidad y eficiencia en servicios, también contemplada comp Kaizen.

El Plan-Do-Check-Act, PDCA es una herramienta cíclica que se aplica en proyectos de fabricación, gestión, construcción... que se popularizó gracias a el Dr. Edward Deming y es muy útil para poder implementar mejoras en los procesos sin tener que detenerlos.

Este método para controlar y mejorar los proyectos, consiste en aplicar 4 pasos de forma repetitive con el objetivo de mejorar el área de negocio. El PDCA concluye con Planificar, corregir, probar e implementar los 4 pasos, que se recogen bajo la fase denominada fase Deming. (Jurnal Sistem dan Manajemen Industri , 2020)

Los pasos a llevar a cabo son los siguientes.

1. Plan: Se trata de establecer unas metas y los procesos correspondientes para poder alcanzar unos resultados.
2. Do: Ejecutar el plan que hemos planteado y hacer un seguimiento de cómo avanza, teniendo en cuenta cada detalle que pueda ser relevante posteriormente.
3. Check: Se basa en inspeccionar los datos de los procesos que se han practicado y evaluar según hayan sido útiles o no.
4. Act: Finalmente, se toman acciones con el objetivo de mejorar los resultados y cumplir con las especificaciones pertinentes en caso de no ser satisfactorios. Si lo han sido, los resultados deben estandarizarse.

Los ciclos PDCA originan numerosas acciones a ser corregidas, tanto temporales como permanentes y pueden dar lugar a añadir valor a los procesos. De esta forma, podemos analizar cuando conviene aplicar la herramienta.

- Cuando se implementan la filosofía Kaizen y el desarrolllo sostenible. Varias mejoras se generan a la vez resolviendo problemas anteriores al utilizar el PDCA
- Cuando un proceso que se lleva a cabo repetidamente; permite identificar fácilmente soluciones y mejoras, va a funcionar mejor con el PDCA que uno no iterative.
- Cuando no se poseen recursos suficienctes para poder realizar pruebas previas

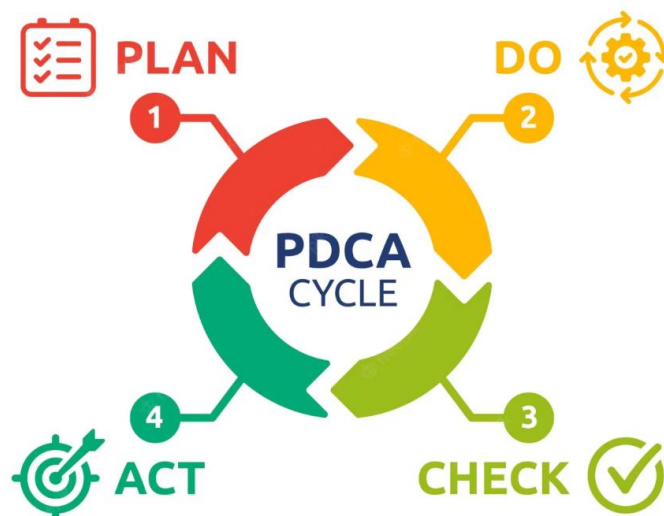


Ilustración 16. Ciclo PDCA (MK Academy, 2020)

4.1.7 TAKT TIME

El Takt time se define como el tiempo medio que se emplea en fabricar un product, pero yendo más allá, se puede transformar en el tiempo invertido en realizar una tarea. Es uno de los principiases desafíos en la hora de relizar un trabajo en cualquier tipo de insutria.

El tiempo no es una elección que tomen las empresas, sino un requisito que establece el cliente, por lo que usar el cálculo del tiempo como una herramienta es lo que permite transformar una possible amenaza en una ayuda.

EL Takt time se puede calcular de la siguiente manera:

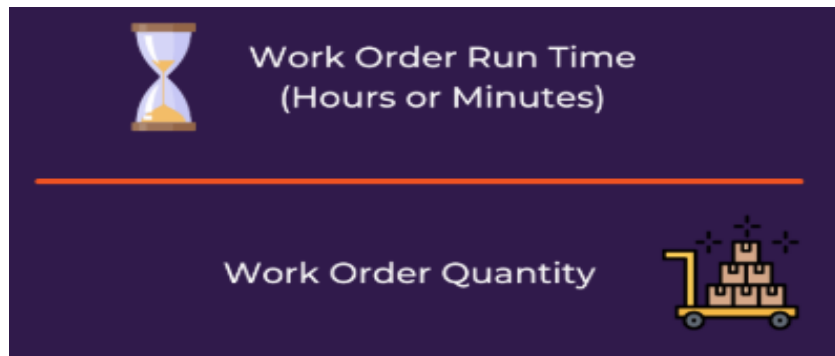


Ilustración 17. Cálculo Takt time. (Gorkem Gencer, 2023)

Para su implementación, se deben coordinar todas las partes involucradas en cada proceso, de forma que se pueda conseguir un flujo continuo de trabajo y evitar los cuellos de botella y tiempos de espera, por lo que es importante crear un balance equilibrado de las tareas que deben realizarse.

Para caluclar y establecer el takt time se pueden tomar los siguientes pasos:

- Identificar las tareas y elementos de los procesos, teniendo en cuenta las posibles restricciones y requisitos.
- Calcular el tiempo empleado en cada tarea en todas las partes del proceso, sin dejar atrás ningún detalle.
- Realizar un primer cálculo del Takt Time y evaluar la situación
- Crear una estructuración de los eventos y tareas que pueda mejorar el Takt Time
- Evaluar la eficiencia del proceso y hacer un balance de las tareas y metodología del trabajo
- Ajustar el balance de las tareas previamente realizado
- Repetir el pproceso periódicamente.

4.1.8 Andon

Andon es una herramienta establecida por Toyota con el objetivo de poder parar los procesos cuando fuese necesario. En Japonés sería ‘señal’ o ‘luz’, que se implementó literalmente, encendiendo una bombilla sobre el puesto de trabajo de los operarios de las fábricas de automóviles y poder parar la producción o solucionar el problema lo antes posible. El método de proceder, se basaba en tirar de una cuerda cuando hubiese incidencias, marcando la necesidad que surgiese. (Lean Enterprise Institute, 2019)

Esta herramienta fue revolucionaria, ya que hasta entonces las decisiones sobre el estado de la planta las tomaba el responsable y con su implementación, cualquier trabajador podría detener la producción o avisar de una incidencia mediante un simple gesto, permitiendo así un ahorro de tiempo.

Durante el paso de los años, se ha ido adaptando la herramienta a las necesidades con soluciones como utilizar diferentes colores para distinguir las incidencias: blanco (producción normal), rojo (aviso de calidad), ámbar (rotura), azul (problema de mantenimiento).

Andon favorece el empleo de ‘Just in Time’ y de la mejora continua, debido a que permite acortar los tiempos de actuación y espera, favoreciendo el flujo de producción y permitiendo conocer las causas y soluciones de cualquier incidencia.

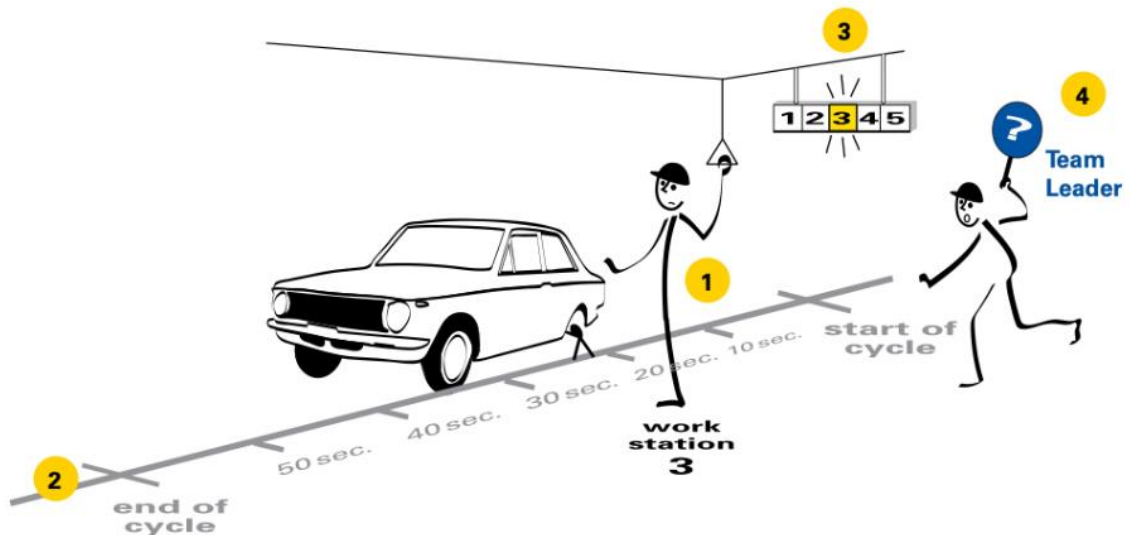


Ilustración 18. Representación de Andon. (Lean Enterprise Institute, 2019)

Orientando la herramienta hacia el lean project management, se podría aplicar este método de trabajo a cualquier sector, de forma que tomando como modelo un comportamiento propio de la fabricación, se permita conocer el estado de resolución de cualquier tarea de todo trabajador en cualquier momento.

Para llevar a cabo esta transformación basta con transferir cualquier Sistema Andon ya establecido, como el ya analizado de los colores a cualquier tipo de proyecto actual. Se podría definir un sistema de estados en los que se encuentre cualquier empleado realizando una tarea.

- Blanco: tarea realizándose sin incidencias.
- Amarillo: cambios o modificaciones que puedan alterar el estado de la tarea.
- Rojo: necesidad de ayuda externa para poder seguir desarrollando la tarea.
- Negro: necesidad de detener el trabajo del equipo, para deliberar cómo se procede ante una incidencia.

Los avances tecnológicos e implementación de la inteligencia artificial pueden ayudar a realizar un software que nos permita conocer el estado de cada trabajador digitalmente.

Desde el punto de vista de lean manufacturing, puede compartir los beneficios con lean project management, pues permite:

- Evitar detener el flujo de trabajo si es innecesario y permite hacerlo cuando se requiere.
- Tener un registro de qué incidencias son más comunes, permitiendo prever en un futuro qué incidencias van a ocurrir y tratar de eliminarlas.
- Mejorar la comunicación entre los trabajadores.
- Analizar que incidencias pueden deberse a un proceso que no aporte valor.
- Mejora de la eficacia y mantenimiento de los equipos y personas involucradas en cada tarea.

4.1.9 POKA YOKE

Poka Yoke es una herramienta que también implementó Toyota en los años 70 y proviene de las palabras ‘poka’, errores y ‘yokeru’, evitar. Por lo que se puede educir simplemente, es una herramienta que permite analizar e intuir errors con el fin de evitarlos.

En la práctica, es un método que se implementó en las fábricas para no continuar hacia el siguiente paso hasta que el anterior no estuviese realizado correctamente. Se puede utilizar tanto como mecanismo de control de detección o como alarma de prevención. (Marina Medina, Appia Group, 2024)

Poka Yoke se basa en tres principios muy definidos:

- Los errores son evitables, los defectos no
- El error debe ser detectado antes de pasar a ser un defecto
- Analizar el corazón de un problema es lo que permite prevenir un defecto

Esta herramienta se puede analizar según que raíz y aplicabilidad tenga según el sector en el que se trabaje, por lo que encontramos diferentes tipos de Poka Yoke.

Poka Yoke de contacto: Se aplica a instrumentos y maquinaria que funcionan solo cuando pueden garantizar unos estándares de seguridad para prevenir errors, realizando identificaciones de requisitos físicos. Ej; un ascensor no puede comenzar a trasladarse hasta que su puerta se encuentra cerrada.

Poka Yoke de secuencia: Se basa en una serie de restricciones que provocan que las etapas de una tarea o proceso de realizan en un orden y secuencia definidos. Se consigue mediante indicaciones visuales o components físicos que impiden alterar el orden lógico.

Poka Yoke de posición: Como su nombre indica, esta herramienta permite conocer si cualquier ítem se encuentra en un posicionamiento correcto. Puede definirse con marcadores visuales o con tecnología mas avanzada como lectores de código o sensores de ocupación.

Poka Yoke de información: Consiste en procesar la información de forma correcta para evitar errores de información confusa o de falta de la misma. Se pueden implementar numerosos procesos y softwares para secuenciar la transmisión de información de una forma definida.

Poka Yoke de tiempo: Centrado sobre la gestión correcta de los tiempos de las etapas de cada proceso. Para medir y corregir los intervalos de tiempo se pueden utilizar contadores, alarmas y aplicaciones de seguimiento temporal.

Poka Yoke de cantidad: Se relaciona con el Poka Yoke de posición, ya que a diferencia de que este se centra en garantizar que el número de elementos de cualquier tipo sea el correcto, los métodos de medición pueden ser parecidos tecnológicamente. Pues se emplean contadores electrónicos, sensores de ocupación y alertas visuales.

Para poder identificar de manera óptima los errores y no dejar ninguno atrás, se recomienda la combinación de la supervision y verificación por parte de los humanos como el uso de elementos tecnológicos.

El análisis y consideración de los tipos de Poka Yoke que existen es muy variado y cada autor o usuario puede contemplar algunos tipos diferentes, los mostrados anteriormente recogen la mayoría de áreas que pueden dar lugar a errores humanos o de maquinaria.

Para implementar esta herramienta se pueden seguir los siguientes pasos:

1. Detección y descripción del defecto: Se debe realizar un registro de los defectos que se van descubriendo.
2. Detección del área del defecto: Es importante conocer en qué lugar o en qué área se identifican las imperfecciones.
3. Analizar las causas: Como se ha visto en una de las normas de esta herramienta, conocer la raíz del problema es la mayor solución para mitigar los errors.
4. Analizar los estándares establecidos: Se relaciona mucho con el paso anterior, pero en este caso se debe

cuestionar si las metodologías establecidas que se toman como válidas pueden ocasionar fallos.

5. Graduar el nivel del defecto: Al igual que en Andon, analizar cómo de importante es este error, puede permitir conocer en qué fase se encuentra el proceso y prevenir posibles defectos de esa etapa.
6. Elección del tipo de Poka Yoka a ser utilizado: Una vez se conoce que error se ha cometido, se debe analizar a qué tipo se corresponde y escoger una herramienta resolutive acorde al problema.
7. Prueba del dispositivo: Tras la elección, se deben hacer tests de que el método seleccionado es funcional y se debe adaptar a los procesos que se requieran. También debe valorarse la aceptación del personal que va a trabajar con dicha solución.
8. Conclusión y análisis del rendimiento: Finalmente, se debe valorar qué beneficios trae la solución a los defectos encontrados y realizar un seguimiento a cerca de si los errores desaparecen de manera constant.

Su relación con lean project management puede dar lugar a pequeñas confusiones, pues las metodologías ágiles proponen los procesos iterativos y el flujo continuo de trabajo pero al aplicar Poka Yoke, se detiene por un pequeño lapso de tiempo el desarrollo de los procesos.

Dándole otro enfoque, esta herramienta permite detectar los errores que se han cometido en el paso anterior, lo que favorece la mejora continua implementada por la filosofía lean. Además permite analizar los procesos que no aportan valor, eliminándolos y reduciendo así los desperdicios.

La herramienta Poka Yoke conlleva unos beneficios como:

- Implementación de mejoras y avances sin alterar los procesos de gran forma
- Adaptación a todo tipo de entorno laboral
- Adaptación constante
- Detecciones de los procesos muy breves
- Ahorro de recursos económicos en investigación

4.1.10 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

El mantenimiento productivo total nace como una idea para controlar el mantenimiento de las máquinas en las empresas de fabricación y alcanzar la producción óptima. Se basa en cumplir requisitos como evitar las averías, las paradas o producción lenta y los defectos.

Todos los proyectos de ingeniería, pueden aplicar esta herramienta a sus procesos ya que a pesar de no ser el caso de una fábrica, cada área de la ingeniería debe entregar un producto al cliente.

El TPM está basado en ciertos pilares que sustentan el funcionamiento de la metodología a ser implementada.

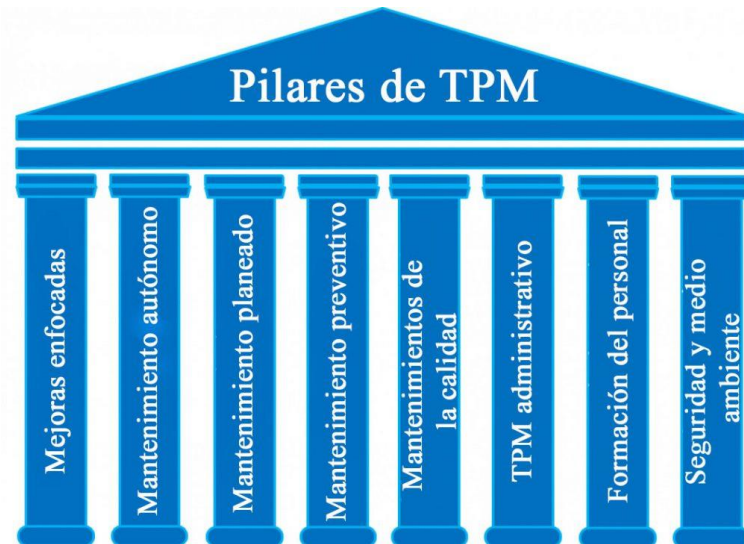


Ilustración 19. Pilares de TPM. (Leanmanu.com, 2023)

Mantenimiento autónomo: Transfiere responsabilidad a los trabajadores de realizar mantenimientos diarios y de inspeccionar que se realicen de la manera correcta. Les permite adquirir mejores conocimientos de sus herramientas de trabajo, dando lugar a una producción mayor y con menos averías y fallos.

Mantenimiento planificado: Organiza las tareas de mantenimiento en función de los eventos negativos que se pueden esperar o que se han reconocido. Disminuye las paradas espontáneas y el inventario de herramientas necesarias para realizar los mantenimientos.

Mantenimiento de calidad: Diseño de métodos de detección y prevención aplicables a los procesos que se aplican en cada sector. Especifica los objetivos de los mantenimientos con planes de acción de mejora, reduciendo los defectos y los costs.

Mejora focalizada: Disposición de un grupo de empleados encargados de llevar a cabo las mejoras en los procesos y acciones que se toman. Combina las habilidades técnicas y sociales del personal para solucionar problemas con un enfoque más globalizado.

Mantenimiento inicial: Aplica el conocimiento y la comprensión de lo aprendido durante el TPM a las nuevas herramientas que van a ser implementadas en un futuro. Facilita los próximos mantenimientos y las nuevas metodologías permiten alcanzar los niveles de rendimiento en un tiempo menor.

Entrenamiento y educación: Completar la falta de conocimiento del personal y sus directores para lograr los objetivos del TPM. Permite a los empleados desarrollar sus habilidades para fortalecer pilares como el mantenimiento autónomo y aplicarse en todas y cada unas de las partes de una empresa, desde el manager del proyecto hasta el último operario.

Seguridad, salud y entorno: Desarrollo de un entorno laboral óptimo. Elimina posibles riesgos de salud y de accidentes en los procesos, mejorando las condiciones de los empleados.

TPM en administración: Aplicar el mantenimiento productivo total a las áreas de gestión. Extiende los beneficios

del TPM a otras áreas y permite el enfoque desde otros puntos de vista, dando lugar a posibles mejoras no contempladas.

El TPM nos permite medir una serie de KPI's (Key Performance Indicators) para conocer analíticamente el estado de los procesos y 6 tipos de pérdidas. Uno de los principales KPI es el OEE (Overall Equipment Effectiveness), que es un indicador que mide el porcentaje de tiempo de producción que es realmente productivo.

El OEE se calcula de la siguiente manera:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(B)}{(A)} = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Tiempo Planificado}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{(C)}{(B)} = \frac{\text{Tiempo Funcionamiento}}{\text{Tiempo Operativo}}$$

$$\text{Calidad} = \frac{(D)}{(C)} = \frac{\text{Tiempo Productivo}}{\text{Tiempo Funcionamiento}}$$

$$\text{OEE} = \frac{(D)}{(A)} = \frac{\text{Tiempo Productivo}}{\text{Tiempo Planificado}}$$

Según que valores adopte el OEE, se puede determinar que la producción se está llevando a cabo de una manera u otra, interpretando los porcentajes obtenemos que:

Valor de OEE	Calidad	Consecuencia
>85%	Excelente	Producción a gran escala con muy alta rentabilidad
75-85%	Buena	Técnicas de mejora implementadas correctamente
65-75%	Aceptable	Procesos competitivos y aumento del retorno de la inversión
45-65%	Regular	Lean management en desarrollo con margen de mejora
<45%	Inaceptable	Pérdidas económicas considerables.

Tabla 2. Valores de OEE. (Elaboración propia)

Los 6 tipos de pérdida que se estudian, afectan considerablemente a los parámetros que conforman el OEE y se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Paradas no planificadas: Surgen cuando se da algún problema que obligue a detener el flujo de trabajo, reduciendo la disponibilidad.
- Configuración y ajustes: Al modificar por muy breve que sean detalles de los procesos, también se ve afectada negativamente la disponibilidad.
- Pequeñas paradas: Interrupción del flujo de trabajo por tiempos menores a 5 minutos, dan lugar a un rendimiento menor.
- Desarrollo lento: Cualquier causa que haga que el flujo de trabajo avance con menos celeridad de lo normal, perjudica el rendimiento.
- Defectos de producción: Los pequeños errores en el producto que se ha generado, afectan a la calidad.

- Defectos de puesta en marcha: Surgen de un mal planteamiento inicial del proceso, que originan una calidad menor.

4.2 MARCO DE TRABAJO DE LPM EN PROYECTOS

Para aplicar toda la teoría y las herramientas que se han introducido a lo largo del trabajo, es necesario establecer unas pautas y criterios en forma de guía, que permitan trabajar con Lean Project Management en cualquier tipo de proyecto, por lo que a continuación se presentan las áreas de aplicación de los proyectos y el uso de una herramienta de implementación de metodologías de gestión como puede ser el PMBOK6

Es de vital importancia destacar que Lean Project Management se puede relacionar de una manera más cercana con las metodologías ágiles, pero de igual manera puede ser aplicada a proyectos que tengan un enfoque predictivo.

Uno de los objetivos de este trabajo es demostrar la viabilidad y la fortaleza que puede tener combinar las metodologías tradicionales con las adaptativas, basando toda la teoría y la práctica en los fundamentos lean que se han desarrollado desde los primeros estudios realizados por Toyota hasta los más recientes, pasando por toda la evolución de la filosofía lean.

Áreas de aplicación de Lean Project Management

En cualquier proyecto de ingeniería, es muy importante tener claro que procesos, áreas y dificultades van a surgir con el desarrollo del mismo, por lo que se establecen unas secciones comunes a todo proyecto que se deben estudiar y valorar para la implementación.

4.2.1 INTEGRACIÓN DEL PROYECTO

Viendo la primera de las áreas que propone el PMBOK; integración del proyecto, se puede determinar muy rápidamente que en el alcance de esta en concreto se deben establecer las herramientas para que el proyecto en cuestión se forme de una manera homogénea para que todas las partes se relacionen entre sí de la manera correcta.

Uno de los fundamentos de LPM en la integración del proyecto es que se garantice la coherencia entre los numerosos procesos existentes, ya que en proyectos de ingeniería hay muchas disciplinas diferentes (eléctrica, química, civil, mecánica...) que pese a su naturaleza, deben coordinarse y expresarse al máximo en conjunto.

En estos primeros pasos previos al proyecto se deben asentar unas bases clave, que se deben mantener en la vida del mismo. Como proyecto gestionado con la metodología Lean, se propone proceder de la siguiente manera

- Definir el flujo de valor: Identificar las actividades que son útiles para el cliente
- Detallar la coordinación: Establecer reuniones clave como la kick-off meeting para enlazar al cliente con los trabajadores desde el 1º momento
- Mejora continua: Crear ciclos constantes de revisión de trabajo, para poder evaluar el rendimiento de los procesos y mejorarlos si se da el caso
- Colaboración: Establecer un método de trabajo en el que los trabajadores no sean independientes entre sí y puedan alcanzar las metas entre todos.
- Coherencia: Mantener la línea del proyecto de forma que se realicen tanto las tareas como la gestión de recursos con un sentido lógico.

4.2.2 DEFINICIÓN DE ALCANCE

Es primordial aplicar la filosofía en el nacimiento de cualquier proyecto de ingeniería, fase en la que se define el alcance. Esto permite analizar el valor del cliente desde el primer momento, evitando posibles conflictos a posteriori.

Lo primero a tener en cuenta es el valor a los ojos del cliente, por lo que se debe conocer su opinión desde el principio, mostrando y haciendo por conocer cuáles son los elementos que no le aportan valor. Para ello, puede ser muy útil realizar un mapeo de la cadena de entrega de valor al cliente, viendo todos los pasos del proceso y el posible impacto en el cliente.

Para continuar trabajando en el alcance de una manera cómoda y sencilla, es importante simplificar el mismo. Para ello, se debe estudiar cuál es la entrega mínima viable (MVP); formato más sencillo del producto que puede aportar valor, desglosando el alcance en partes pequeñas.

Manteniendo el pensamiento lean, es recomendable establecer desde los inicios una comunicación fluida con el cliente. Para llevarlo a cabo, se suelen utilizar documentos visuales que faciliten la comprensión y establecer unos medios de comunicación accesibles en todo momento por ambas partes.

4.2.3 DURACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

La siguiente etapa que se avecina en un proyecto una vez definido el alcance, es hacer una estimación de cuánto pueden alargarse las actividades en el tiempo. De esta forma se moldea inicialmente el proyecto y se pueden adquirir unas nociones básicas sobre la duración.

Para no salir del camino establecido por el lean management, existen varios métodos de resolución:

- Eliminar el desperdicio en el proceso: puede realizarse con métodos de trabajo cómo prescindir de reuniones que no sean realmente necesarias o analizar solamente las nociones más simples sin entrar en detalle para evitar posible trabajo en vano.
- Involucrar al personal en la estimación, ya que permite conocer cómo se desempeñan las actividades de diferentes áreas que van a participar en el proyecto sin la necesidad de tener que realizar un análisis pausado.
- Uso de la información correcta: Una de las mejores ayudas puede ser la utilización de datos obtenidos anteriormente en el sector o de trabajos previos de la misma compañía que permitan verificar que las atimaciones planteadas son fieles a la realidad.
- Realizar un desglose lógico de los eventos que se suceden a lo largo del proyecto, creando agrupaciones de tareas que se sucedan y aporten cierto valor y fluidez al estudio que se realiza.

A la hora de establecer un cronograma es muy importante reconocer qué tipo de proyecto se va a desarrollar y qué metodología es más conveniente emplear en cada momento.

La elección de la metodología en cada etapa no es ni definitiva ni comparable, sino que depende de la naturaleza de cada proyecto y de cuál de ellas se adapte mejor a cada evento del proyecto.

Por reglas generales suele plantear un enfoque tradicional para la fases previas de los proyecto, y uno ágil en los primeros eventos del desarrollo de la ingeniería, ya que requieren más iteraciones y están sujetos a más posibilidad de cambios.

Para las fases de ejecución y prueba se suelen emplear enfoques predictivos a simples rasgos, pero el detalle de las tareas de estas etapas se debe abordar con metodologías ágiles, pues en estas etapas finales no debe haber muchos cambios, pero se recomienda dar flexibilidad a las tareas por si no fuse según lo esperado.

Una vez establecidas las metodologías a emplear, se pueden aplicar características propias de lean management para garantizar el éxito de la formulación de la planificación como las siguientes:

- Eliminar actividades que no aporten valor.
- Reducir tiempos de tareas en todo lo posible, mediante métodos como automatización o estandarización.
- Priorizar las iteraciones cortas para aumentar la retoalimentación.
- Realizar un seguimiento constante a lo largo del progreso.

4.2.4 GESTIÓN DE COSTES Y FINANZAS

Antes de comenzar a ejecutar el proyecto, debe estudiarse la viabilidad económica del mismo en función de los recursos que se dispongan. Aplicar los métodos que se han desarrollado desde los inicios de Toyota, permiten a las compañías mejorar el control sobre los gastos.

Al haber eliminado las reuniones que resultan excesivas de la planificación y los eventos que no aportan valor al cliente, se genera un impacto económico positivo para el proyecto ya que partimos de menos horas que hay que pagar a los empleados, y menos medios de transporte y gestión necesarios.

De cara a la financiación de los recursos, es imprescindible implementar el Just-in-time. Esta forma de actuar permite adquirir solo los recursos necesarios una vez los solicita el cliente, valorizando el método pull y evitando posibles sobreproducciones y almacenamiento excesivo de material.

Otro recurso muy valorado es la reutilización de material y herramientas, pues aunque en ocasiones no se tenga en cuenta puede ahorrar grandes cantidades de dinero y tiempo en todos los proyectos.

Una de las principales características de Lean que es muy resultante en esta área es el trabajo en equipo y las buenas relaciones, ya que el hecho de mantener una relación fructífera con los proveedores puede ayudar a obtener unos precios más ajustados.

Finalmente, como es propio de las metodologías ágiles, se plantea el empleo de un presupuesto dinámico. Consiste en no mantener los presupuestos iniciales y cumplirlos a rajatabla, sino en amoldar la gestión de los recursos con el desarrollo de proyecto. Esto permite además adquirir nuevos conocimientos financieros de cara a futuros trabajos.

4.2.5 GESTIÓN DE CALIDAD

La calidad es uno de los parámetros más importantes de la filosofía Lean, ya que simplemente con su aplicación se cumplan algunas bases de las metodologías ágiles como la mejora continua o la eliminación de los desperdicios que no aportan valor.

Una de las herramientas más empleadas para garantizar que se mide la calidad de todos los detalles a tener en cuenta y que se hace de la forma correcta es mediante la pirámide de calidad. Su organización consta de 3 fases, que componen la pirámide. (Croft, 2024)

Base de la pirámide: Seguro de Calidad

En esta fase, se crean y mantienen los estándares de calidad de los procesos a nivel más bajo. Da lugar a un carácter proactivo, ya que se centra en la prevención de detección de errores de manera preventiva, la práctica temprana de estos hábitos garantiza el cumplimiento continuo de los niveles de calidad. Destacan los siguientes parámetros clave:

- Diseño y mejora de los procesos
- Estándares y guías
- Entrenamiento y desarrollo

Medio de la pirámide: Control de calidad

El foco de la parte media de la pirámide de calidad se corresponde con las actividades y técnicas que verifican que el producto cumple con los requisitos de calidad necesarios. El control es de naturaleza reactiva, ya que evalúa los defectos, examina los más importantes y encuentra soluciones para la satisfacción del cliente. Los elementos clave son:

- Inspecciones y pruebas regulares
- Círculos de feedback
- Acciones correctivas

Cúspide de la pirámide: Mejora continua

En la parte superior, se encuentra el proceso constante de tomar todos los elementos estudiados previamente y tratar de mejorarlos para aumentar la calidad. Este último tramo acerca los proyectos lo más posible a una calidad excelente y se apoya en los siguientes elementos:

- Feedback del cliente
- Innovación
- Medición del rendimiento



Ilustración 20. Pirámide de Calidad. (Elaboración propia)

4.2.6 GESTIÓN DE ADQUISICIONES

Comunmente a todos los proyectos de ingeniería, el lean project management debe estudiar y valorar las acciones y procesos que se llevan a cabo a la hora de hacerse con material o servicios, ya que pese a tener como objetivo crear y elaborar un producto, se suele acceder a la compra de ciertos elementos ya que producir todo es una misión al alcance de muy pocos.

Desde el enfoque lean, es muy importante analizar la necesidad que se tiene como comprador, para ello se deben definir que objetivo tiene la adquisición en cuestión. Una práctica casi obligatoria debe ser especificar técnicamente que producto es necesario y siempre estudiar las posibles alternativas; tanto de proveedores como de productos a adquirir.

De cara a la elección del proveedor, cada trabajador ha de ser responsable de la selección que se lleva a cabo. Para ello se deben evaluar factores objetivos que aporten valor al proyecto, de una manera profesional y transparente. La buena praxis da lugar a buenas relaciones con los proveedores, con los numerosos beneficios que esto conlleva como; mejor trato, mejores precios, menores plazos...

Los posibles desperdicios de este proceso, se relacionan con la comunicación y el método de negociación con los proveedores. Para reducirlos, se deben emplear los canales de comunicación establecidos por la compañía y evitando etapas innecesarias como el papeleo excesivo. El éxito de la adquisición, reside en una buena negociación, sencilla y sin elementos de más que puedan entorpecer el trato con el proveedor.

Tras la negociación que se debe haber planteado, se debe establecer un contrato que dentro de lo posible beneficie al comprador. El paso más sencillo para lograrlo es el planteamiento de contratos claros y sencillos que permitan conocer que se firma.

Una vez el contrato está firmado y en vigor, es crucial realizarle el seguimiento correcto para detectar posibles incumplimientos a lo largo del mismo, ya que en ocasiones se pueden pasar por alto detalles que contractualmente son beneficiarios como calidad, plazos o especificaciones. Frente a estos incumplimientos se debe gestionar correctamente la solución, de la manera más rápida posible y sin dañar las relaciones con los proveedores.

4.2.7 GESTIÓN DE RIESGOS

Paralelamente a todas las gestiones que se desarrollan a medida que avanza un proyecto, es crítico analizar los posibles riesgos presentes en los proyectos de ingeniería, tanto económicos como los impactos que pueden suceder con la implementación del proyecto.

Una de las principales formas de operar que existen es estudiar los riesgos desde las fases iniciales. Puede ser de gran utilidad un análisis general con todo el personal, ya que las múltiples experiencias aportan diferentes voces y riesgos a evaluar, esto permite examinar todas las partes del proceso y el flujo de valor. Otra de las prevenciones existentes es echar la vista atrás e identificar los riesgos que hayan existido en proyectos previos.

Por otra parte, se debe tener en cuenta la importancia y relevancia de cada una de las amenazas. Para ello, se pueden emplear los análisis de impacto; que permite seleccionar la importancia y potencial de cada ítem considerado como riesgo. Una de las herramientas más empleadas es la matriz causa efecto, hay modelos diferentes según el área y las necesidades pero suelen tener la misma base estructural.

	Factor	Acción 1	Acción m	Impactos primarios	Impactos secundarios
Factores ambientales	Factor 1	Impacto 11	Impacto 1m	Impactos secundarios	Impactos terciarios
	Factor 2				
	Factor n	Impacto n1	Impacto nm		

Tabla 3. Análisis de impacto. (Elaboración propia)

Finalmente, hay que establecer planes de eliminación y respuesta a las amenazas, el enfoque Lean es muy práctico en estos casos; eliminando desperdicios y estandarizando procesos cabe la posibilidad de que se disminuyan los riesgos. Para ello se pueden emplear planes definidos de respuesta para saber cómo actuar ante cualquier situación repentina.

Para el conocimiento constante de todos los riesgos se debe monitorizar cada proceso desde su principio hasta su fin, actualizando todos métodos y herramientas que se han descrito previamente. El continuo conocimiento del estado de los procesos facilita la mejora y favorece el aprendizaje.

4.2.8 GESTIÓN DE STAKEHOLDERS

Los stakeholders se definen como todas las personas u organizaciones que se ven interesadas por el proyecto, dar un enfoque orientado a ellos es crucial en lean project management ya que uno de los principales pilares es la relación con las personas.

Identificación

Para tener en cuenta a los stakeholders en todos los procesos de los proyectos que se llevan a cabo en un proyecto, se deben analizar las partes interesadas desde una etapa muy temprana, pues no hacerlo puede desembocar en obviar posibles retos o riesgos.

Una vez se conocen las partes interesadas se procede a priorizar y a agruparlas en función de la importancia y relevancia que tengan con el proyecto, al igual que el interés que puedan presentar. Quedando una clasificación como la siguiente.

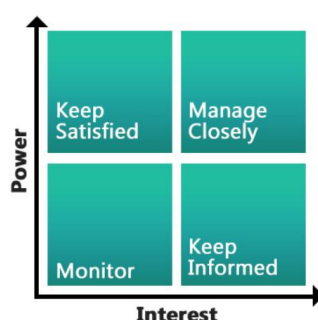


Ilustración 21. Categorías de stakeholders. (Croft, 2024)

- Alto poder y interés: Partes con gran influencia a lo largo de todo el proyecto de forma que sus opiniones y acciones deben ser tenidas en cuenta, requieren una comunicación fluida y constante. En proyectos de ingeniería pueden ser; cliente principal, inversores, organismos regulatorios.
- Alto poder, bajo interés: Se deben tratar de la misma manera que enfocan ellos el proyecto, simplemente manteniéndolos satisfechos pero sin una constancia muy repetitiva. Entre los posibles stakeholders se encuentran sindicatos, medios de comunicación o miembros de la directiva que no se involucren con el proyecto.
- Bajo poder, alto interés: Deben ser considerados como personas que se ven afectados por gran parte del proyecto, pero que no tienen capacidad de decisión, por lo que deben cumplirse sus necesidades para evitar malas relaciones. Destacan los proveedores secundarios, ONGs, usuarios finales de producto.
- Bajo poder, bajo interés: Se contemplan como partes que no solicitan una comunicación fluida, aunque se les debe monitorear en el caso de que cambie su poder o influencia. Se pueden mostrar a otras competencias del proyecto o personas que puedan estudiar el proyecto por cualquier causa.

Participación

Como se ha tratado en la identificación, se puede apreciar que la involucración de las partes interesadas es un punto clave y para ello es necesario establecer una buena comunicación entre partes y una buena gestión de las influencias.

Una herramienta visual puede ser muy útil para definir los planes de comunicación de cada stakeholder o grupo y se propone la siguiente.

Stakeholder Group	Focus	Owner	Method	When	Frequency	Notes

Tabla 4. Planes de comunicación de stakeholders (Elaboración propia).

La participación no solo se concluye con los planes de comunicación, si no que se debe ir más allá y establecer una comunicación con bases en lean management como:

- Escucha activa
- Involucramiento temprano
- Plataformas que faciliten el intercambio de información
- Seguimiento constante

Con respecto a la gestión de la influencia, su importancia reside en tratar a los diferentes stakeholders como se debe en función de la relación que se tenga con ellos y de la evolución que muestren durante el proyecto.

4.2.9 GESTIÓN DE LAS COMUNICACIONES

Muy relacionada con la gestión de las partes interesadas, surge la gestión de la comunicaciones pero esta vez con un enfoque más global del proyecto y siempre respetando los estándares del lean management. La comunicación es una de las áreas que se encuentra en menor desarrollo y sin embargo es una de las más importantes.

Propósito y valor de la comunicación

En primer lugar, se estudia cuáles son los objetivos que se encuentran detrás de cada acción de intercambio de información. Se deben seleccionar dos criterios a ser cumplidos, uno de ellos es analizar qué personas se ven afectadas por cualquier comunicado y para ello se necesita adaptar el registro y canal por el que se va a interactuar.

El segundo elemento que se debe tener en cuenta es qué valor aporta el mensaje que se envía, por lo que de esta forma se evitan los posibles desperdicios existentes en la comunicación.

Mejora del flujo de información

Al no existir la perfección, siempre cabe la posibilidad de optimizar la fluidez y método en la que surge la comunicación, por lo que se propone:

- Eliminar el posible ruido que haya en los mensajes, es decir, filtrar la información que realmente sea necesaria para que el receptor obtenga un mensaje simple y sencillo.
- Establecer unos canales de comunicación que permitan a los trabajadores interactuar de una forma sencilla y con ciertos niveles de estandarización.
- Retroalimentación; que la información que se envía reciba un feedback en el caso de que sea necesario y se mantengan informadas todas las personas involucradas en todo momento.

Estandarización

La principal metodología para alcanzar la sencillez y que todos los trabajadores del proyecto se comuniquen de una manera ordenada y semejante, se basa en establecer ciertos criterios de comunicación que permitan unos estándares en el día a día.

Una de los recursos más empleados es el uso de plantillas, de forma que el mensaje se envíe como un documento en el que se incluyan ciertos elementos que se deben tratar. Por otro lado, estas plantillas deben ser archivadas de una cierta forma para el fácil acceso en cualquier momento, permitiendo conocer la información intercambiada en un futuro.

4.2.10 RECURSOS DEL PROYECTO

Todo proyecto de ingeniería, parte de unos recursos finitos que se deben administrar a lo largo de la vida del proyecto, ya pueden ser económicos, materiales o de personal. Mediante la correcta gestión de los recursos, se consigue una mayor eficiencia global.

Uno de los pilares de los recursos es la eliminación de desperdicios existentes en todas las áreas y para ello se debe realizar una identificación precisa.

- **Sobreasignación:** Suele suceder en los inicios de los proyectos y se debe a que en estas fases se poseen mas recursos. Es importante no dotar con más recursos de los necesarios ninguna fase ya que puede repercutir en falta de recursos futura y en el cambio del método de trabajo de los empleados.
- **Inactividad:** En grandes proyectos, puede darse que ciertos elementos se encuentren inactivos un cierto tiempo y su reactivación puede ser lenta y costosa, por lo que se debe realizar una buena planificación para la correcta organización del funcionamiento de los equipos.
- **Inventarios excesivos y movimientos innecesarios:** Como ya se ha visto anteriormente, estos factores retrasan los tiempos y favorecen el deterioro del material.

Para la correcta aplicación de las herramientas, se propone emplearlas de la siguiente manera según el desperdicio.

Tipo de desperdicio	Acción	Herramienta
Sobreasignación	Asignar recursos excesivos	VSM
Sobreproducción	Producir por encima de la demanda	Just in Time
Inactividad	Recursos sin uso constante	Takt time & TPM
Movimientos innecesarios	Desplazamientos evitables	PDCA
Defectos	Errores que generan retrabajo	Poka Yoke

Tabla 5. Relación de desperdicios y herramientas. (Elaboración propia)

4.3 RELACIÓN ENTRE HERRAMIENTAS Y ÁREAS DE TRABAJO

A continuación, se muestran matricialmente las relaciones que guarda cada herramienta con las diferentes áreas de trabajo:

	VSM	5S	PANEL SQCDP	SMED	KAIZEN
Integración	3	3	2	3	2
Alcance	1	1	2	2	2
Tiempo	3	2	2	3	3
Costes	1	1	3	2	2
Calidad	2	2	3	1	2
Adquisición	3	2	2	2	3
Riesgos	3	3	3	2	2
Stakeholders	2	1	2	1	3
Comunicación	2	1	1	1	3
Recursos	1	1	2	2	2

Tabla 6. Relación de herramientas y disciplinas (Elaboración propia)

	PDCA	TAKT TIME	ANDON	POKA YOKE	TPM
Integración	2	1	2	1	1
Alcance	3	1	1	1	1
Tiempo	2	3	2	1	2
Costes	2	1	1	1	0
Calidad	2	3	1	1	1
Adquisición	1	2	2	1	1
Riesgos	2	1	1	1	2
Stakeholders	1	3	3	0	1
Comunicación	1	1	2	0	0
Recursos	3	1	2	2	1

Tabla 7. Relación de herramientas y disciplinas (Elaboración propia)

Para concluir, se muestra sugiere el empleo de una de las herramientas para una de las áreas con las que más afinidad puede tener. Cabe destacar que se realiza de una forma meramente orientativa y según el criterio y la opinión personal, ya que no existe ninguna obligación u opinión definitiva sobre esta conclusión.

VSM (Value Stream Mapping) - Integración del proyecto

El VSM se relaciona fuertemente con la Integración del proyecto porque proporciona una visión general del flujo de trabajo desde el inicio hasta el final del proyecto. Permite identificar desperdicios y oportunidades de mejora en todo el proceso, lo que es fundamental para la integración efectiva de todas las partes del proyecto.

5S - Gestión de calidad y Recursos del proyecto

La herramienta 5S se enfoca en organizar el espacio de trabajo de manera eficiente y estandarizada. Esto tiene un impacto directo en la calidad del trabajo realizado y en la gestión de los recursos físicos del proyecto, mejorando la productividad y reduciendo errores.

PANEL SQCDP - Gestión de las comunicaciones

El Panel SQCDP (Seguridad, Calidad, Costo, Entrega, Personas) es una herramienta visual que facilita la comunicación efectiva del estado del proyecto en múltiples dimensiones. Proporciona una visión rápida y clara de los indicadores clave, lo que lo hace ideal para la gestión de las comunicaciones del proyecto.

Kanban - Definición de alcance, duración y planificación

Kanban es una herramienta visual para gestionar el flujo de trabajo, lo que lo hace especialmente útil para la planificación y seguimiento del alcance y la duración del proyecto. Permite visualizar fácilmente el progreso y los cuellos de botella, facilitando la planificación y ajuste continuo del proyecto.

PDCA - Integración del proyecto

El ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act) es una herramienta fundamental para la mejora continua y la resolución de problemas. Se relaciona estrechamente con la Integración del proyecto porque proporciona un marco para gestionar y mejorar constantemente todos los aspectos del proyecto de manera integrada.

ANDON - Gestión de calidad

ANDON es un sistema de control visual que se utiliza para alertar sobre problemas en tiempo real. Está fuertemente relacionado con la gestión de calidad porque permite una rápida identificación y respuesta a los problemas, mejorando la calidad general del proyecto.

POKA YOKE - Gestión de calidad

POKA YOKE es una técnica para prevenir errores en los procesos. Se relaciona directamente con la gestión de calidad porque su objetivo principal es eliminar o reducir los defectos en el producto o servicio final del proyecto.

TPM (Total Productive Maintenance) - Gestión de calidad y Recursos del proyecto

TPM se enfoca en mantener y mejorar la integridad de los sistemas de producción y calidad a través de las máquinas, equipos, procesos y empleados. Esto lo relaciona estrechamente con la gestión de calidad y la gestión de recursos del proyecto, asegurando que todos los elementos del proyecto funcionen de manera óptima.

5 CONCLUSIÓN

Tras realizar un amplio estudio sobre el Lean Project Management y su relación con los proyectos de ingeniería es de vital importancia sacar conclusiones sobre el tema expuesto e intentar comprender desde la raíz cada apartado que se ha tratado y la relación que guardan entre sí, terminando de dar forma al proyecto y cerrando el proyecto de una manera que permita recordar con claridad los diferentes asuntos.

Para proceder de una forma lógica y ordenada, se muestran las diferentes ideas clave que se han obtenido en el orden que se ha dispuesto el proyecto y se muestran a continuación.

Comenzando por los tipos de metodología, tradicional y ágiles, se puede uno dar cuenta que no existe una elección correcta a cerca de qué metodología emplear, pues hay un mundo de tipos de proyecto y a cada uno le conviene más un estilo u otro.

Lo que sí es obvio es que en los proyectos de ingeniería hay muchas dependencias; licitaciones, permisos, proveedores, transporte, errores de fabricación y muchas otras, lo que implica que limitar el enfoque a las metodologías tradicionales puede no ser óptimo, ya que si hubiese algún contratiempo en cualquiera de las dependencias se darían retrasos de forma que el fallo en la dependencia podría causar el efecto “bola de nieve”.

Analizando las áreas de conocimiento del PMBOK y el Scrum, se puede apreciar que definir las áreas de conocimiento (integración, alcance, tiempo...) del PMBOK y las características del Scrum (herramientas, roles y eventos) ayudan considerablemente a poder tener una organización clara a lo largo del proyecto.

Esta organización va a ser vital para gestionar el proyecto de una manera clara ya que a lo largo de los proyectos es muy común olvidar conceptos y tener una noción básica de todos los detalles del proyecto permite detenerse y evaluar como avanza con una visión más global, dando lugar a que se abarquen todas las áreas que deben tratarse.

Abordando el marco teórico de lean management, se ha podido observar durante las diversas investigaciones que a diferencia que otros temas, desde el inicio de los productores de Toyota se han definido los conceptos teóricos de una manera muy clara. Se puede ver reflejado en la similitud de información que se muestra al realizar comparaciones de diferentes fuentes de información.

Creo que una de las claves del éxito de esta manera de gestionar los proyectos es esta claridad a la hora de definir ideas y el mantenimiento de los fundamentos a lo largo de los años. Se sabe que la mayoría de proyectos que adoptan metodologías ágiles proliferan más que los que se abordan con metodologías tradicionales, esta demostración podría extenderse tanto como se quisiera pero es una de las pruebas de la correcta elección de objetivos que definieron Eiji Toyoda y Taiichi Ohno en su día.

Viendo la evolución histórica de Lean Managment, me he podido remontar a los comienzos de la idea, la fabricación y la producción. Aunque no todos los proyectos de ingeniería requieran fabricar un producto físico, todos tienen la misma naturaleza, entregar un producto final a un cliente.

Esta evolución facilita contrastar como se han organizado los sistemas productivos con el paso del tiempo; mejora calidad, tempos mas cortos, mejora continua, satisfacción plena del cliente, empleados más capacitados y con mejores condiciones...

Las tendencias de los sistemas de producción marcan como se deben plantear los proyectos futuros, lo que creo que nos obliga a auto-ayudarnos como gestores de proyectos, dando lugar a una ingeniería en constante evolución y siempre un paso más cerca de la excelencia.

Con respecto a los fundamentos de Lean Project Management, es muy importante tener claro qué se establece y de qué manera. Los principios se resumen en automatización y detección de defectos (Jidoka), trabajo en equipo, desarrollo del producto en función de los tiempos que requiere el cliente (Just in time), procesos estandarizados y mejora continua (Kaizen).

Esta combinación de pilares forja que la calidad sea óptima, el coste sea el mínimo y los tiempos se reduzcan considerablemente. Destaca cómo estableciendo unas ideas básicas se pueda crear un nuevo tipo de metodología que perdure en el tiempo debido a su buen rendimiento.

Estos pilares se traducen en unos fundamentos de trabajo: especificar el valor, identificar el flujo de valor, crear flujo y establecer “pull” para dar un concepto de trabajo hasta la perfección. Se puede observar que los fundamentos de trabajo están diseñados en base a los pilares de la metodología, lo que hace que la idea tome sentido y no se olviden las bases establecidas.

Como último punto teórico de Lean Management, se muestran los tipos de desperdicio que se pueden dar en un proyecto: sobreproducción, inventarios, defectos, sobreproceso, tiempos de espera, transporte y desplazamientos. Analizándolos, se ve claramente que los desperdicios abarcan todos los posibles causantes de ineficiencia que pueden encontrarse en un proyecto.

Aunque el Lean Management no se resume en la producción de maquinaria (como nació la idea de Toyota), tiene una muy estrecha relación con los fundamentos y desperdicios que se han comentado. Quizás no todos los proyectos tengan inventarios físicos, pero todos tienen un inventario de documentación, trabajo, entregas... o en vez de transporte físico de material haya intercambios de documentos, viajes, comunicación en todos los niveles.

La principal idea que surge tras analizar los fundamentos, es que se debe tratar de extrapolar los principios de un proyecto de fábrica a cualquier proyecto de ingeniería, ya que todos tienen una naturaleza muy similar y a todos se les puede aplicar una metodología ágil como el Lean Project Management.

Continuadamente, se exponen los diferentes tipos de proyectos de ingeniería. Este apartado es sabido por la gran mayoría de personas que se relacionan con la ingeniería, pero debe estudiarse cómo se prevee que evolucionen y que relación pueden tener con el Lean Management.

Se puede ver en ingeniería civil; smart cities para la mejora de gestión urbana, mecánica; innovación de piezas de automoción, eléctrica; optimización del flujo eléctrico, energética; tecnologías de aumento de eficiencia, química; mejora de sostenibilidad de procesos, aeroespacial; alternativas mejores a los motores tradicionales.

La realidad detrás de todas estas tendencias es que la evolución avanza hacia la mejora continua, procesos estandarizados y automatización y análisis de los defectos. Paradójicamente, parece que las tendencias futuras encajan a la perfección con las ideas principales que estableció el Lean Management, por lo que se concluye que esta metodología va a seguir empleándose y mejorando con el tiempo.

Paralelamente, se han escogido diez herramientas a poder ser utilizadas en los proyectos para implementar la metodología Lean. Destaca que en rasgos generales, todas las herramientas son muy visuales y sencillas para aplicar en cualquier circunstancia. Analizándolas una a una:

- VSM permite organizar en forma de diagrama cada paso de los flujos de materiales e información necesarios para llevar un producto desde el pedido hasta la entrega. Se trata de una herramienta fundamental en la mejora continua para identificar y eliminar los residuos.
- Las 5s sirven para aumentar la eficiencia de los procesos y homogeneizar el trabajo, dando lugar a menos defectos, mejora de los plazos, aumento de la productividad, mejor mantenimiento, más calidad, crecimiento corporativo.
- El panel SQCPD engloba los cinco factores generales de rendimiento que definen las operaciones de fabricación óptimas. En otras palabras, las herramientas visuales proporcionan información sobre seguridad, calidad, coste, entrega y personal.
- Las tarjetas Kanban técnica son adecuadas para una metodología ágil que trabaje en modo iterativo. Ciclos cortos que permiten una entrega más rápida de la característica esperada son implementados, dentro de un proceso de mejora continua.

- Con el SMED los tiempos invertidos en preparación y cambio de una máquina son uno de los factores claves para un fabricante de clase mundial. La reducción de los tiempos de cambio de partes permite la minimización en el tamaño de los lotes, haciendo posible con ello la disminución de los inventarios en proceso y producto terminado. Todas estas mejoras en los tiempos de ciclo permiten dar a la empresa una respuesta más rápida a los clientes, disminuyendo la necesidad de mantener inventarios de productos terminados. SMED sin duda implica un logro para toda organización, de ahí que planificar las siguientes tareas supone un punto de partida importante para la implementación adecuada del método:
- PDCA: Hay un papel esencial en la investigación mediante la realización de revisiones de la literatura como en el "Plan Do Check Action (PDCA) method: Revisión de la literatura y temas de investigación" a partir de los resultados de la literatura de investigación que se han publicado desde 2015 - 2020 es esta investigación es útil como base para el desarrollo de conocimientos, las lagunas en los puntos de vista, proporcionando evidencia de los efectos, y si se hace bien, tiene la capacidad de ser aplicado como nuevas ideas de investigación. Una aplicación objetiva del método PDCA puede dar lugar a la eliminación de residuos en el lugar de trabajo (reducción del tiempo de espera, tiempo de inactividad, consumo de energía, daños en el motor, pérdidas, defectos, etc.) y el aumento de la productividad y la mejora. La aplicación subjetiva del método PDCA requiere un alto compromiso con el proceso porque el método PDCA implementa un proceso cíclico que significa que el Planificar, Realizar, Comprobar y Actuar debe llevarse a cabo continuamente.
- Del Takt Time se deduce que la disciplina en el trabajo no debe ser una imposición, sino una motivación para el mejoramiento productivo de las empresas. Una herramienta tecnológica como el Takt time a partir del uso de metodologías enfocadas a mejorar los procesos productivos, puede ser una estrategia ideal para el control y la gestión de información, relacionada con ambientes de manufacturación o fabricación, orientado a brindar todo lo necesario para alcanzar los tiempos de entrega, y optimizar los recursos de producción.
- Gracias a las paradas proporcionadas por Andon se favorece el empleo de 'Just in Time' y de la mejora continua, debido a que permite acortar los tiempos de actuación y espera, favoreciendo el flujo de producción y permitiendo conocer las causas y soluciones de cualquier incidencia
- Poka yoke permite detectar los errores que se han cometido en el paso anterior, lo que favorece la mejora continua implementada por la filosofía lean. Además permite analizar los procesos que no aportan valor, eliminándolos y reduciendo así los desperdicios. Para poder identificar de manera óptima los errores y no dejar ninguno atrás, se recomienda la combinación de la supervisión y verificación por parte de los humanos como el uso de elementos tecnológicos.
- El TPM facilita el medir una serie de KPI's (Key Performance Indicators) para conocer analíticamente el estado de los procesos y 6 tipos de pérdidas, lo que favorece la mejora continua y la detección de defectos típica de esta metodología.

Seguidamente, estudiando el marco de trabajo se ve que es de vital importancia destacar que Lean Project Management se puede relacionar de una manera más cercana con las metodologías ágiles, pero de igual manera puede ser aplicada a proyectos que tengan un enfoque predictivo.

Uno de los objetivos de este trabajo es demostrar la viabilidad y la fortaleza que puede tener combinar las metodologías tradicionales con las adaptativas, basando toda la teoría y la práctica en los fundamentos lean que se han desarrollado desde los primeros estudios realizados por Toyota hasta los más recientes, pasando por toda la evolución de la filosofía lean.

A continuación se estudian las posibles áreas de aplicación del Lean Project Management, que también son diez. No se ha tomado este número a propósito pero conviene a la hora de enlazar las herramientas con las diferentes áreas. De igual manera, se procede a analizar cada área comentada.

- La gestión de la integración del proyecto es importante cuando los procesos del proyecto interactúan entre sí. Desde la planificación hasta la documentación, la coherencia a lo largo del proyecto, combinada con la planificación estratégica a largo plazo, puede ayudar a identificar oportunidades.
- la gestión del alcance en Lean Project Management se caracteriza por su enfoque en el valor para el cliente, su flexibilidad, la eliminación de desperdicios, la entrega rápida y la mejora continua. Este enfoque busca asegurar que el proyecto se mantenga ágil y centrado en lo que realmente importa para el éxito del proyecto y la satisfacción del cliente.
- El estudio de costes y finanzas implica que al priorizar la transparencia, la mejora continua y la alineación con los flujos de valor, las empresas pueden no solo reducir costos innecesarios, sino también mejorar la rentabilidad y la satisfacción del cliente. Implementar este modelo financiero requiere un cambio cultural hacia una mentalidad más ágil y colaborativa, pero los resultados en términos de eficiencia operativa y sostenibilidad financiera hacen que el esfuerzo valga la pena.
- las organizaciones pueden lograr una mayor eficiencia, reducir costes innecesarios y mejorar la satisfacción del cliente. La planificación Lean no solo optimiza la ejecución del proyecto, sino que también fomenta una cultura de innovación y aprendizaje continuo dentro del equipo.
- La Pirámide de la Calidad ofrece un marco integral para la gestión de la calidad. Su enfoque estructurado, desde las prácticas fundamentales de garantía de calidad hasta las medidas correctivas de control de calidad, culminando en el enfoque estratégico de la mejora continua, prepara a las empresas para ofrecer un valor superior. La aplicación de este modelo permite a las organizaciones no sólo satisfacer las expectativas de los clientes, sino superarlas, logrando una importante ventaja competitiva. Más que un conjunto de normas, la Pirámide de la Calidad encarna una cultura de la excelencia, fomentando una búsqueda continua de la calidad que impregna todos los aspectos de una organización.
- la gestión de adquisiciones en Lean Project Management busca garantizar que todos los recursos externos sean adquiridos de manera eficiente, alineados con los principios Lean: maximización del valor, eliminación del desperdicio y mejora continua. Este enfoque fomenta relaciones sólidas con proveedores estratégicos y asegura que las adquisiciones contribuyan directamente al éxito del proyecto.
- El análisis de riesgos no sólo refuerza los proyectos contra posibles escollos, sino que también garantiza una asignación estratégica de los recursos, fomentando la toma de decisiones informadas y la mejora continua de los procesos, desempeñando así un papel fundamental en la consecución de una excelencia empresarial sostenible.
- La gestión eficaz de los stakeholders va más allá del reconocimiento de intereses; requiere un compromiso activo y adaptable, una comunicación coherente y una comprensión del cambiante panorama de influencia. A medida que evolucionan los proyectos, también deben hacerlo las estrategias de interacción con las partes interesadas. Aplicando un enfoque receptivo y considerado a la gestión de las partes interesadas, los jefes de proyecto pueden fomentar un entorno de colaboración propicio para el éxito. Esta forma de trabajo ofrece un modelo de compromiso que garantiza que las partes interesadas no sólo sean escuchadas, sino que contribuyan de forma esencial a la mejora continua y, en última instancia, dirijan los proyectos hacia sus objetivos con el apoyo colectivo y el conocimiento de todos los implicados.
- Es probable que el futuro de la comunicación en relación con el lean management venga determinada por los avances tecnológicos, los cambios en los modelos de trabajo y la evolución de las prioridades organizativas. Como tal, sigue siendo un campo dinámico y en evolución, que ofrece oportunidades continuas para la innovación y la mejora de la forma en que nos comunicamos en entornos profesionales.
- La gestión de recursos es fundamental por razones como la optimización de los tiempos debido a la eliminación de tareas innecesarias, la mejora de la asignación de trabajo a empleados y máquinas. Todas estas prácticas tienen una estrecha relación con el resto de áreas como la gestión de costes y la duración y planificación del proyec

- Business Map*. **Michaela Toneva**. 2019. 2019.
- Chandiramani, Sunil**. 2019. Adaptive vs Predictive Lean Management. *Zvolv*. 2019.
- Croft, Daniel**. 2024. Quality Pyramid. *Lean 6 Sigma*. <https://www.learnleansigma.com/guides/the-quality-pyramid/>, 2024.
- Gorkem Gencer**. 2023. *Intrudction to Takt Time*. 2023.
- Hiroataka Takeuchi e Ikujiro Nonaka**. 1986. *Las raíces del Scrum*. 1986.
- Hiroyuki Hirano**. 2012. *5 Pilares de la Fábrica Visual*. 2012.
- John Kotter**. 2019. *Qué son las técnicas de organización*. 2019.
- Jurnal Sistem dan Manajemen Industri**. 2020. *Plan do check action (PDCA) method: literature review*. 2020.
- Lean Enterprise Institute**. 2019. *Andon - What Is It?*. 2019.
- Lean y Kanban*. **Jogre Sánchez López**. 2022. LinkedIn : guía práctica para la gestión de proyectos ágiles, 2022.
- Leanmanu.com**. 2023. *TPM – Mantenimiento productivo total*. 2023.
- Lukáš Jurík, Natália Horňáková**. 2020. *THE APPLICATION OF SMED METHOD IN THE INDUSTRIAL*. 2020.
- Marina Medina, Appia Group**. 2024. *Poka Yoke: Qué es y ejemplos*. 2024.
- MK Academy**. 2020. *PDCA Cicle review*. 2020.
- Patricia Bonilla, Juan Carlos Monge**. 2008. *SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIES (SMED)*. 2008.
- Patrick Lemay**. 2019. *Tablero SQCDP: Una herramienta de gestión visual para el taller*. 2019.
- Paulina Rewers**. 2016. *Tools and methods of Lean Manufacturing*. 2016.
- Project Management Institute**. 2017. *PMBOK 6*. 2017.
- Rainer Erne**. 2022. *How to apply Lean Thinking in Project Management*. 2022.
- Sara S. Badran**. 2024. *Lean vs agile project management in construction: impacts on project performance outcomes*. 2024.
- Sentrio**. 2018. *Value Stream Mapping: qué es, pasos y consejos para hacer uno*. 2018.
- Sergio Enrique Zamora**. 2020. *Scrum México*. 2020.
- UEMC Business School**. 2022. *¿Qué es Scrum? Framework que agiliza el Trabajo en Equipo*. 2022.
- Vicente Hinojosa Barrios**. 2019. *Implementación de la metodología 5S en un almacén de refacciones*. 2019.
- Womack, J., Jones, D. and Roos, D**. 1990. *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. 1990.

Muchas gracias.